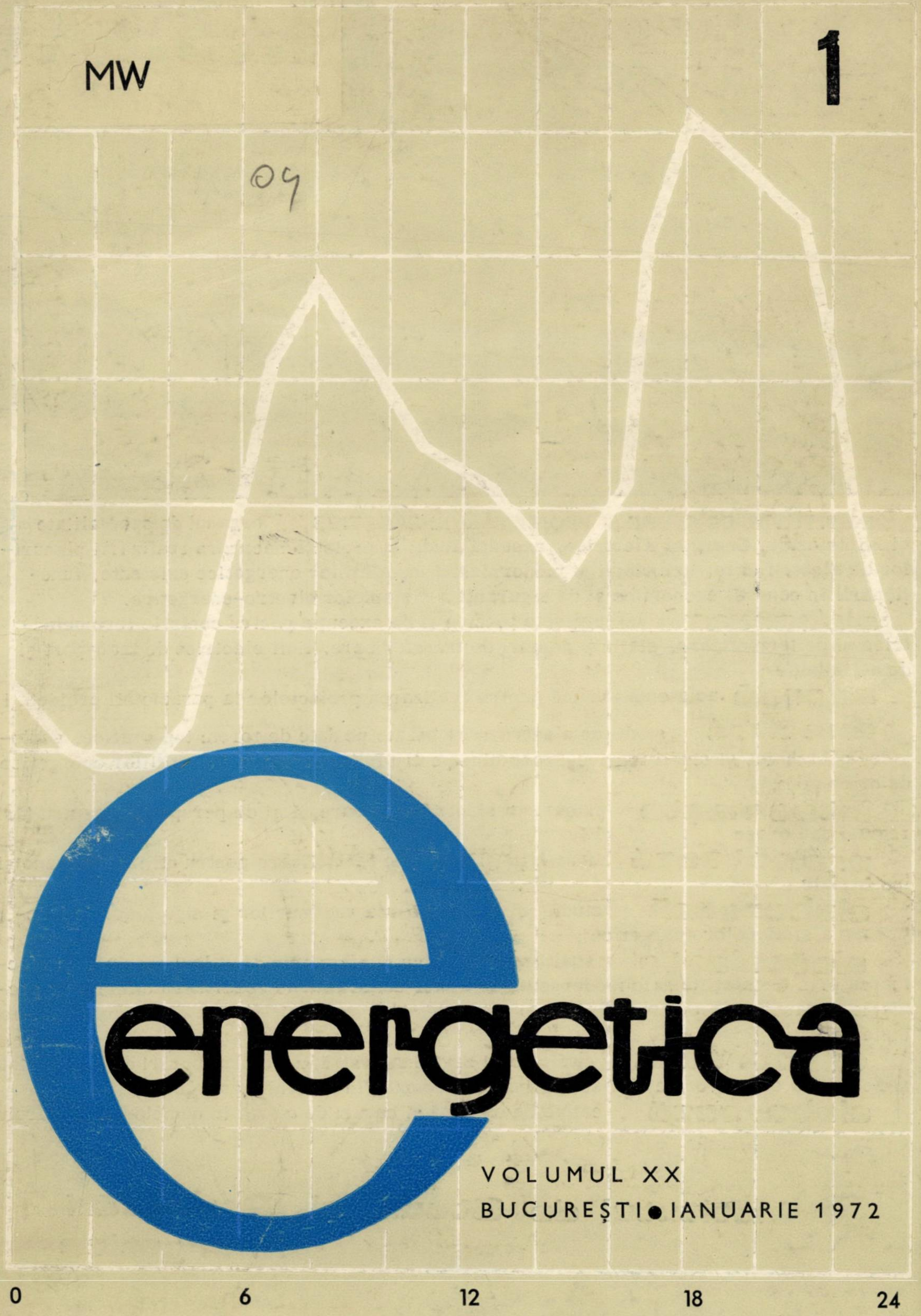
E 2039

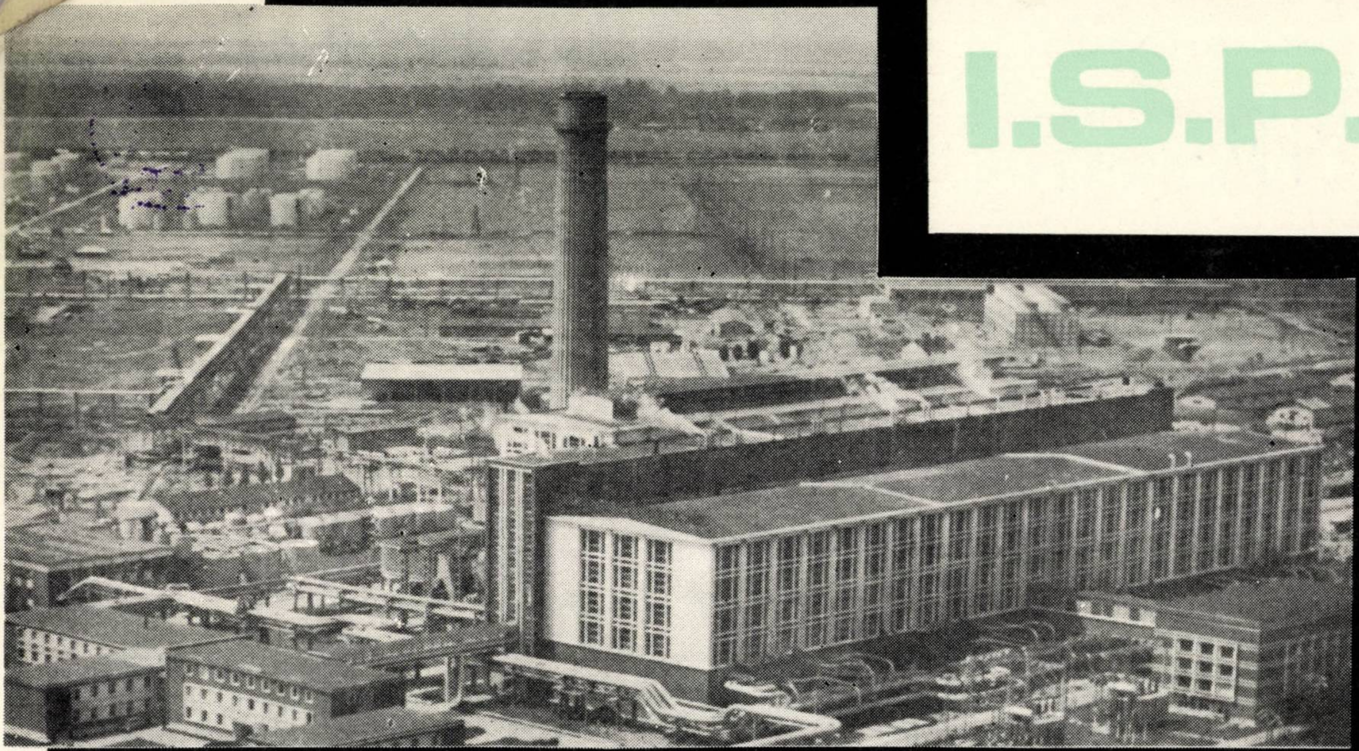
1




04

# energetica

VOLUMUL XX
BUCUREŞTI • IANUARIE 1972



# I.S.P.E

INSTITUTUL DE STUDII ŞI PROIECTĂRI ENERGETICE, organul de specialitate al Ministerului Energiei Electrice, execută studii şi proiecte necesare realizării planurilor de electrificare, extinderii şi modernizării instalaţiilor energetice existente, funcţionării în condiţii economice şi de siguranţă a sistemelor electro-energetice.

**elaborează** proiecte tehnice şi de execuţie pentru centrale termoelectrice şi de termoficare, staţii şi posturi de transformare, linii electrice de transport şi de distribuţie ;

**acordă** asistenţă tehnică pentru realizarea proiectelor la parametrii proiectaţi ;

**execută** studii de electrificare bazate pe date de teren: topografice, geologice, geotehnice şi studii tehnico-economice pentru fundamentarea investiţiilor energetice de orice gen ;

**întocmeşte** planuri de electrificare curentă şi de perspectivă pentru ţări, regiuni sau oraşe

**proiectează** instalaţii şi reţele de termoficare pentru utilizări urbane şi industriale ;

**elaborează** studii privind stabilirea regimurilor şi siguranţei de funcţionare a sistemelor energetice ;

**alcătuieşte** studii metodologice şi algoritme de calcul, precum şi efectuarea prin instalaţiile sale moderne a calculelor necesitate de rezolvarea diferitelor probleme de studii şi proiectare din domeniul sistemelor energetice sau a elementelor acestor sisteme ;

**colaborează** cu firme şi organizaţii străine pentru lucrări de specialitate şi acordă la cerere orice alte servicii de engineering în domeniul energetic ;

**elaborează** caiete de sarcină şi cereri de ofertă în numele beneficiarului.

* * *


## Institutul de Studii şi Proiectări Energetice

Bd. Lacul Tei nr. 1
telefon:12.19.70; 12.71.41
telex - 011.177

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁR ÉS DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT 1883

# ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 1972 Nr. 1 Ianuarie

## Cuprinsul


| | | Pag. |
|---|---|---|
| *Giuvelea, P.* și *Athanasovici, V.* | **Stabilirea consumului specific de căldură al serelor legumicole** | 1–9 |
| *Brachetti, H.E.* | **Amplasarea direct în pămînt a rețelelor de termoficare** | 10–19 |
| *Nicu, Vl.* | **Particularități în variația randamentului cazanelor de apă fierbinte** | 20–21 |
| *Bălan, F. V.* | **Aspecte privind modificarea caracteristicilor fizico-chimice ale depunerilor provenite din arderea combustibililor în centrale, în vederea măririi siguranței în exploatare a cazanelor** | 21–26 |
| *Cosma, Gh.* | **Contribuții la problema influenței suportului morișților hidrometrice asupra măsurării debitului în conducte forțate** | 26–33 |
| *Buta, A.* | **Alimentarea rețelelor urbane buclate complex de joasă tensiune** | 34–38 |
| *Buhuș, P.* și *Stan, P.* | **Folosirea aceluiași întreruptor pentru circuitul de transformator și pentru cupla de ocolire în stațiile cu separatoarele dispuse în linie** | 39–42 |
| *Mayer, Fr.* | **Găsirea soluției optime, la proiectarea unor lucrări energetice, pe graful de sinteză al soluțiilor** | 43–44 |

**CRONICĂ**

**RECENZII**

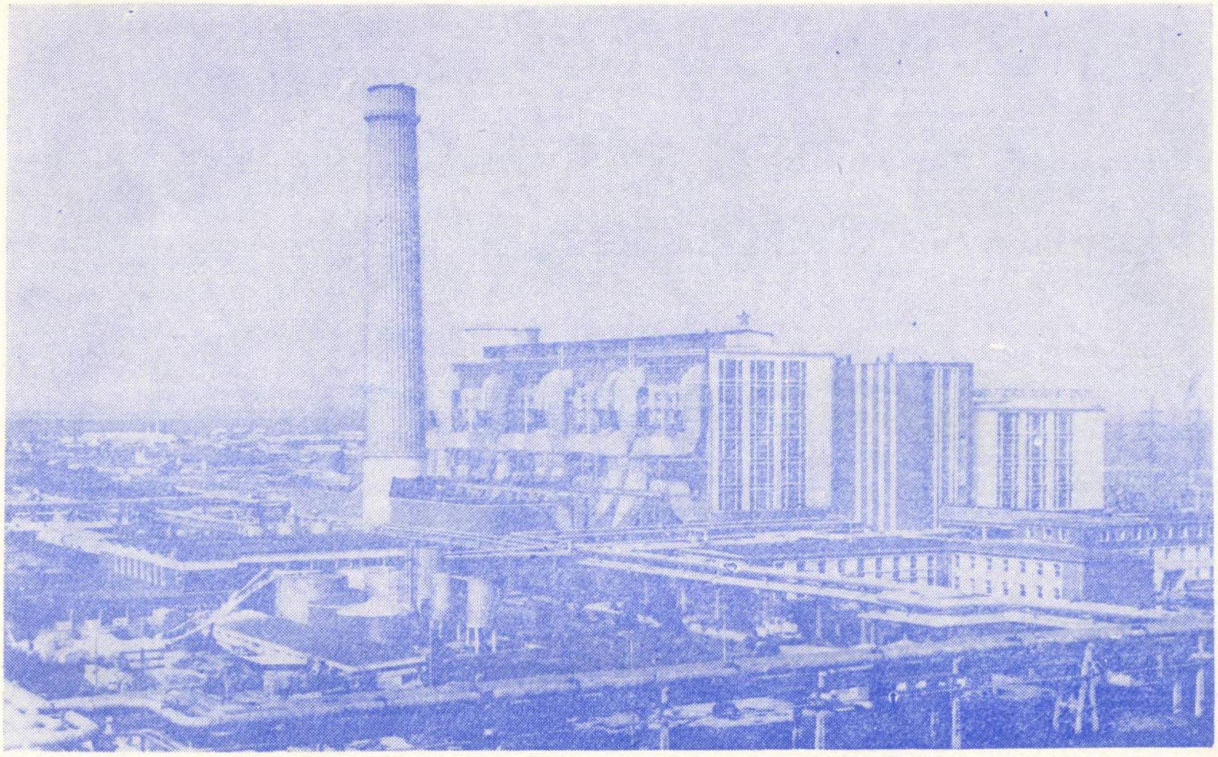
**INFORMAȚII TEHNICE**


COMITETUL DE REDACȚIE

Prof. univ. emerit ing. I. D. STĂNCESCU, redactor responsabil, ing G. IORGULESCU, redactor responsabil adjunct, conf. ing. I. A. BADEA, ing. ST. BERENGHI, conf. ing. A. COGĂLNICEANU, dr. ing. P. DIMO, membru corespondent al Academiei Republicii Socialiste România, laureat al Premiului de Stat, ing H. FURTUNESCU, ing. P. IFTIME, ing. L. LUCA, ing. B. MARCU, dr. ing. A. MĂCRIȘ, conf. ing C. MIHĂILEANU, prof. dr. ing. V. I. NIȚU, ing. A. SPÎNU, ing. R. ZANE

OFICIUL DE DOCUMENTARE ENERGETICĂ

# I E C ✺ PLOIEȘTI



● PRIN CENTRALELE SALE ELECTRICE, IEC PLOIEȘTI FURNIZEAZĂ ENERGIE ELECTRICĂ SISTEMULUI ENERGETIC NAȚIONAL.

● PRIN CENTRALA ELECTRICĂ DE TERMOFICARE BRAZI SE LIVREAZĂ CĂLDURĂ CONSUMATORILOR DE PE PLATFORMA INDUSTRIALĂ BRAZI, SERELOR ȘI ANSAMBLELOR DE LOCUINȚE DIN MUNICIPIUL PLOIEȘTI

● CENTRALA TERMOELECTRICĂ DOICEȘTI LIVREAZĂ ȘI CENUȘĂ PENTRU FABRICAREA BETONULUI CELULAR AUTOCLAVIZAT ȘI A CIMENTURILOR SPECIALE.

**ÎNTREPRINDEREA ELECTROCENTRALE PLOIEȘTI**

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁR ÉS DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT

## SOMMAIRE

CD 697.38 :635.98

*Giuvelea, P.* et *Athanasovici, V.* : **Calcul de la consommation spécifique de chaleur des serres de légumes**

Il s'agit d'une analyse des pertes de chaleur des serres et de l'apport de chaleur des radiations solaires, après avoir expliqué les expressions mathématiques adéquates qui traitent un nomogramme général.

Energetica 20 (1972), no. 1, p. 1–9

CD 696.314 :697.1 :699.86

*Brachetti, H. E.* : **Considérations sur l'implantation directe dans la terre des réseaux de chauffage à distance**

L'auteur présente les éléments techniques qui influencent la vie et la fiabilité des réseaux de chauffage à distance posés d'après des systèmes différents (canal classique, protection par deux éléments de béton armé préfabriqué de type L, ou directement dans la terre). Il donne une explication théorique et insiste sur l'apparition de l'humidité, sa propagation et son influence négative sur les tubes.

Energetica 20 (1972), no. 1, p. 10–19

CD 621.181.373

*Nicu, Vl.* : **Quelques particularités dans la variation du rendement des chaudières d'eau chaude**

Etude de l'interdépendance des paramètres de fonctionnement principaux des chaudières d'eau chaude.

Energetica 20 (1972), no. 1, p. 20–21

CD 662.6 ;621.311.2 ;621.18

*Bălan, F. V.* : **Quelques aspects sur la modification des caractéristiques physiques et chimiques des dépôts provenant de la combustion des combustibles dans les centrales thermiques, afin d'augmenter la fiabilité des chaudières**

L'article s'occupe tout particulièrement de l'aspect théorique de la formation des dépôts sur le chemin des gaz brûlés à la suite d'essais de laboratoire sur la résistance des cendres agglomérées.

Energetica 20 (1972) no. p 21–26

CD 532.57:532.7

*Cosma, Gh.:* **L'influence du support du moulinet hydrométrique sur le mesurage du débit dans les conduites à pression**

A partir de la littérature technique et des résultats des recherches propres, l'auteur analyse les facteurs influençant l'erreur de mesurage du débit par les moulinets hydrométriques et mis en evidence le fait que, dans la multitude de facteurs produisant des deviations aléatoires, le poids du rotor est le plus important.

Energetica 20 (1972), no. 1, p. 26–33

CD 621.315.11

*Buta, A* : **Alimentation des réseaux urbains bouclés complexes sous basse tension**

En employant des modèles abstraits, on analyse des problèmes soulevés par l'étude des réseaux de distribution à basse et moyenne tension : choix de la puissance nominale (c'est-à-dire de la densité) des postes de transformateurs, du nombre de lignes d'alimentation à moyenne tension et du système de relier les postes de transformateurs au réseau à moyenne tension.

Energetica 20 (1972) no. 1, p. 34–38

CD 621.311.42 : 621.316.542

*Buhuş, P.* et *Stan, P.* : **Emploi du même disjoncteur pour les circuits du transformateur et le contacteur de by-pass dans les sous-stations avec sectionneurs disposés en ligne**

Les auteurs proposent les schémas électriques des sous-stations de haute tension, sans contacteur de transfert ou transversal, en réservant les disjoncteurs de travail des autotransformateurs, et en assumant le risque de raccorder les autotransformateurs, pour la période respective, directement aux jeux de barre, sans disjoncteur.

Energetica 20 (1972) no. 1, p. 39–42

CD 621.31 :517

*Mayer, Fr.* : **Solution optimale dans l'étude d'ouvrages énergétiques à l'aide d'un graphe de synthèse des solutions**

Possibilité d'employer les méthodes de programmation dynamique pour le choix d'une solution comportant plusieurs variantes dans les phases intermédiaires, avec exemples.

Energetica 20 (1972), no. 1, p. 43–44

## CONTENTS

DC 697.38 :635.98

*Giuvelea, P.* and *Athanasovici, V.* : **Establishing the specific heat consumption of greenhouses**

This is an estimation of heat losses in greenhouses and of the heat supply coming from solar radiation made after having explained the adequate mathematical expressions treating a general nomogramm.

Energetica 20 (1072) no. 1, p. 1–9

DC 696.314 :697.1 :699.86

*Brachetti, H. E.* : **Some considerations on the laying of heat transmission mains directly underground**

The authors deals here with some technical elements which exert an influence on the life and safety of heat supply systems in various types of layout (conventional culvert, protected by L-type reinforced concrete prefabs, as well as directly in the ground). He gives a theoretical explanation and insists on the appearance of moisture, its rise and negative influence upon the mains.

Energetica 20 (1972), no. 1, p. 10–19

DC 621.181.373

*Nicu, Vl.* : **Some particularities in hot water boiler output variation**

The author studies the interdependence among the main operating parameters of hot water boilers.

Energetica 20 (1972), no. 1, p. 20–21

DC 662.6 : 621.311.2 : 621.18

*Bălan, F. V.* : **Some aspects regarding the modification of the physical and chemical features of deposits caused by fuel burning in power plants, with the purpose to rise safety conditions during boiler operation**

The theoretical aspect of ash deposits along flue gas ducts s considered here, the resistance of agglomerated ash being ihecked in the laboratory.

Energetica 20 (1972), no. 1, p. 21–26

DC 532.57; 532:7.

*Cosma, Gh.:* **The effect of the current meter holder upon the flow measurement in press water conduits**

On the base of the data published in technical litterature as well as other data resulted from author's researches, the factors affecting the flow measurement error through currents meters is analysed and the fact that the weight of current meter impeller is the most important nf the factors producing the random deviations is amphasized.

Energetica (20), 1972, no. 1, p. 26–33

DC 621.316.11

*Buta, A.* : **The supply of low voltage complex urban loops**

Design problems raised by low and medium voltage distribution networks are examined by using abstracts models. Examples : the selection of the rated power (i. e. density) of switchingyards, the number of low voltage supply lines and the method of connecting switching-yards to the medium voltage network.

Energetica 20 (1972), no. 1. p. 34–38

DC 621.311.42 :621.316.542

*Buhuş, P.* and *Stan, P.* : **The utilization of the same circuit breaker for the transformer circuit and the by-pass coupling in substations having isolating switches disposed in line**

Single-line diagrams of high voltage substations are presented in this article, without transfer or cross-couplings, the working breakers of the generator transformers being reserved, with the hazard of having the generator transformers, for that period of time, directly linked to the busbars, without breaker.

Energetica 20 (1972). No. 1. p. 39–42

DC 621.31 :517

*Mayer, Fr.* : **Finding the optimal solution when designing energy projects on the solution synthesis graph**

Examples are given about the potential utilisation of dynamic programming methods when chosing solutions with several alternatives in intermediate stages.

Energetica 20 (1972), no. 1, p. 43–44

## СОДЕРЖАНИЕ

ДК 697.38 : 635.98
*Джувеля, П.* и *Атанасович, В.*: **Определение удельного расхода тепла в парниках**

Рассматривается потеря тепла в парниках и получение тепла излучением солнца, по разъяснению математических выражений, описывающих общую номограмму.
Energetica 20 (1972), No. 1, стр. 1–9

ДК 696.3/4 : 697.1 : 699.86
*Бракетти, Г. Е.*: **О прямой подземной установке тепловых сетей**

Приводятся технические элементы влияющие на долговечность и надежность тепловых сетей с разлучными способами установки (классический канал, система защиты из трубопроводов или из двух элементов сборного железобетона типа расположенного под углом и непосредственно в земле). Настаивается и теоретически объясняется появление сырости, ее распространение и ее отрицательное влияние на трубопроводы.
Energetica 20 (1971), No. 9, стр. 10–19

ДК 621.181.373
*Нику, Вл.*: : **Особенности в изменениях к.п.д. водогрейных котлов**

Рассматривается зависимость между главными рабочими параметрами водогрейных котлов.
Energetica 20 (1972), No. 1, стр. 20–21

DK 662.6:621.311.2 :621.18
*Бэлан, Ф. В.*: **Соображения по изменению физикохимических характеристик отложений полученных при сжигании топлива на электростанциях в связи с увеличением надежности эксплуатации котлов**

Рассматриваются, главным образом, теоретические вопросы отложений в газоходе с лабораторной проверкой спекшейся золы.
Energetica 20 (1972), No. 1, стр. 21–26

ДК 352.57:532.7
*Косма, Г.*: **Влияние использования гидрометрических вертушек на измерения расхода напорных трубопроводов**

На основание литературных данных и полученных при проведении ряда собственных исследований, автор рассматривает факторы, действующие на погрешность измерения расхода, при использовании гидрометрических вертушек и выявляет факт, что из множества факторов, приводящих смучайным погрешностям, масса ротора гидрометрической вертушки имеет большой удельный вес.
Energetica 20 (1972), No 1, стр. 26–33

ДК 621.316.11
*Бута, А.*: **Питание городских комплексных шлейфовых сетей низкого напряжения**

На основании абстрактных моделей рассматриваются вопросы проектирования сетей низкого и среднего напряжений, выбор номинальной мощности (соответственно и плотности) трансформаторных постов, числа питательных линий низкого напряжения и способа подключения трансформаторных постов к сети среднего напряжения.
Energetica 20 (1972), No 1, стр. 34–33

ДК 621.311.42 : 621.316.542
*Бухуш, П.* и *Стан, П.*: **Использование общего выключателя для трансформаторной цепи и для перемычки в подстанциях с линейным расположением разъединителей**

Предлагаются электрические схемы высоковольтных подстанций без поперечных и передаточных шин путем резервирования рабочих выключателей автотрансформаторов с принятием риска, в соответствующий период, прямого подключения автотрансформаторов к шинам без выключателя.
Energetica 20 (1972), No. 1, стр. 39–42

ДК 621.31 :517
*Маер, Фр.*: **Вывод оптимального решения при проектировании энергетических работ на основании графа синтеза решений**

Рассматривается возможность использования методов динамического программирования при выборе решений, имеющих несколько вариантов в промежуточных этапах.
Energetica 20 (1972), No. 1, стр. 43–44

## INHALTSVERZEICHNIS

DK 697.38 :635.98
*Giuvelea, P.* und *Athanasovici, V.*: **Ermittlung des spezifischen Wärmeverbrauchs bei Gemüsetreibhäusern**

Die Wärmeverluste von Treibhäusern und deren Wärmegewinn infolge Sonnenbestrahlung werden untersucht. Dabei werden mathematische Ausdrücke eines einschlägigen allgemeinen Schaubilds erläutert.
Energetica 20 (1972), H. 1, S. 1–9

DK 696.314 :697.1 :699.86
*Brachetti, H. F.*: **Betrachtungen über unmittelbar ins Erdreich verlegte Fernheizrohrleitungen**

Es werden die, die Lebensdauer und Betriebssicherheit von Fernheiz-rohrleitungen bei verschiedenen Verlegungsweisen (in herkömmlichen Kanälen, mit Schutzvorrichtungen aus Rohren oder aus zwei winkelweise gegeneinander verlegten L-förmigen Fertigbeton-Bauteilen oder unmittelbar in den Erdboden) beeinflussenden Faktoren untersucht. Das Auftreten und die Ausbreitung von Feuch tigkeit sowie deren ungünstige Auswirkungen auf die Rohrewerden eingehend erörtert.
Energetica 20 (1972), H. 1, S. 10–19

DK 621.181.373
*Nicu, Vl.*: **Eigetümlichkeiten der Schwankungen des Wirkungsgrads von Heisswasserkesseln**

Es wird die gegenseitige Abhängigkeit zwischen den wichtigsten Betriebsparametern von Heisswasserkesseln untersucht.
Energetica 20 (1972), H. 1, S. 20–21

DC 662.6 : 621.311.2 : 621.18
*Bălan, F. V.*: **Beeinflussung der physikalischen und chemischen Eigenschaften von Verbrennungsniederschlägen aus Kesseln, zweeks Vergrösserung der Betriebssicherheit von Dampfkraftwerken**

Es werden die theoretischen Grundlagen der Entstehung von Niederschlägen auf dem Ausgangsweg von Verbrennungsgasen erörtert, mit Hinweis auf im Labor vorgenommenen Messungen des Widerstands verdichteter Aschen.
Energetica 20 (1972), no. 1, S. 21–26

DK 532.57 :532.7
*Cosma, Gh.*: **Der Einfluss der Bautype von Flügelschrauben-Fliessgeschwindigkeitsmessern auf die Genauigkeit der Ergebnisse von Mengenmessungen in Druckrohrleitungen**

Der Verfasser untersucht die Faktoren, welche die bei Gebrauch von Flügelschrauben — Fliessgeschwindigkeitsmessern in Druckrohrleitungen auftretenden Messfehler beeinflussen. Dabei werden im Fachschriftum enthaltene Angaben sowie Ergebnisse eigener Forschungen in Betracht gezogen. Es wird nachgewiesen, dass unter den vielen, zufällige Abweichungen hervorrufenden Faktoren, den Gewicht des Flügelschraubenrotors eine bedeutende Bedeutung zukommt.
Energetica 20 (1972), H. 1, S. 26–33

DK 621.316.11
*Buta, A.*: **Speisung städtischer, vielfach vermaschter Niederspannungsnetze**

An Hand abstrakter Modelle wird die Frage des Entwurfs von Nieder-und Mittelspannungsnetzen untersucht. Für Nieder und Mittelspannungsnetze werden Fragen im Zusammenhang mit Entwurf, Auswahl der Nennleistung (beziehungsweise Dichte der Anlagen innerhalb des Netzes) der Umspannanlagen, Anzahl der Mittelspannungs—Einspeisungsverbindungen sowie die sort der Schaltung der Umspannanlagen an das Mittelspannungsnetz besprochen.
Energetica 20 (1972), H. 1, S. 34–38

DK 621.311.42. :621.316.542
*Buhuş, P.* und *Stan, P.*: **Gebrauch eines einzigen Schalters für den Umspannerkreis sowie für die Ausweichkopplung in Umspannanlagen mit linienweise angeordneten Trennschaltern**

Für Hochspannungsschaltwarten werden Schaltbilder ohne Quer-und Übertragungs-kopplungen vorgeschlagen, wobei den Steuerschaltern der Spartransformatoren eine doppelte Aufgabe vorbehalten bleibt. In diesem Falle besteht die Gefahr, das gegebenenfalls die Spartransformatoren zeitweilig unmittelbar an die Sammelschienen, ohne Schalter verbunden sind.
Energetica 20 (1972), H. 1, S. 39–42

DK 621.31 :517
*Mayer, Fr.*: **Ermittlung der optimalen Lösung bei Entwurf von Energieversorgungsanlagen, an Hand eines Synthese-Schaubilds**

Es wird an Beispielen die Anwendungsmöglichkeit dynamischer Programmierungsverfahren bei Auswahl von Lösungen welche in den Zwischenetappen verschiedene Varianten zulassen, erörtert.
Energetica 20 (1972), H. 1, S. 43–44

# Stabilirea consumului specific de căldură al serelor legumicole

Ing. P. Giuvelea şi
ing. V. Athanasovici *)

## 1. Generalităţi

Pentru a alimenta economic cu căldură complexele industriale de sere legumicole este necesară în primul rînd cunoaşterea consumului specific de căldură aferent [12].

În literatura de specialitate se găsesc numeroase soluţii de rezolvare teoretică a problemelor privind încălzirea serelor, indicîndu-se expresii matematice care nu pot avea aplicabilitate directă la serele acoperite cu sticlă sau material plastic, cu încălzire sau fără încălzire [1].

Sintetizînd studiile efectuate în diferite ţări, se constată că pierderile de căldură, diferite atît în funcţie de natura culturii cît şi de etapele de dezvoltare, afectează în sere fenomene termice complexe.

## 2. Ecuaţia generală de bilanţ energetic

O determinare riguroasă a consumului de căldură se poate face în urma explicitării termenilor bilanţului energetic. Se pot scrie ecuaţiile de bilanţ la nivelul solului, la nivelul întregului ansamblu (aşa-numitul „bilanţ total"). O rezolvare teoretică a bilanţului energetic ne-o oferă Bouchet şi Damagnez [1]. De asemenea, Anufriev şi Pozin [2] încearcă să obţină, pe baza unor ipoteze simplificatoare, în urma unor bilanţuri parţiale, o relaţie generală de calcul al necesarului de căldură al serelor. Bosinger [3] realizează un studiu amănunţit al fenomenelor din seră, referindu-se la o bogată bibliografie.

Interdependenţa fenomenelor de schimb de căldură în seră, precum şi dinamica lor, atît în cursul unui ciclu diurn, cît şi în cursul unui ciclu de vegetaţie, presupun existenţa unui bilanţ energetic complex a cărui determinare practică, la ora actuală, nu este posibilă, deoarece nu se cunoaşte cu suficientă precizie modul în care se face transmisia căldurii prin învelişul transparent, în diferite ipoteze de simultaneitate ale climatului interior şi exterior.

O rezolvare satisfăcătoare a acestei probleme o constituie metoda măsurării directe, urmată de determinarea, interpretarea şi generalizarea unor relaţii cu caracter statistic. În acest fel, relaţiile clasice folosite vor fi corectate de indici caracteristici rezultaţi din măsurătorile directe.

*) Pompilius Giuvelea este inginer la IRME; ing. V. Athanasovici este asistent la Institutul politehnic Bucureşti, Facultatea de energetică, Catedra de centrale electrice.

Ecuaţia de bilanţ total al serei legumicole în regim staţionar este

$$q_{1cons.} = q_{1pierd.} \quad [\text{kcal/m}^2.\text{h}] \quad (1)$$

sau

$$Q_{1cons.} = Q_{1pierd.} \quad [\text{kcal/h}] \quad (1)'$$

Dacă se ţine seamă că pierderile se produc prin radiaţie, convecţie şi conductibilitate,

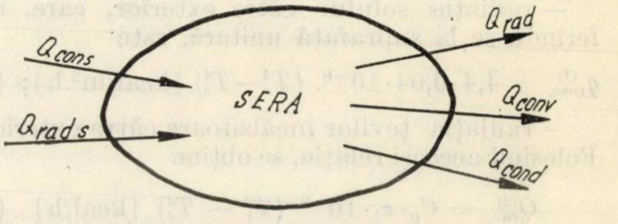



Fig. 1. Bilanţul energetic simplificat.

diminuate fiind de aportul radiaţiei solare, egalitatea devine

$$q_{1cons.} = q_{1rad.} + q_{1conv.} + q_{1cond.} - q_{1rad.s.} \quad [\text{kcal/m}^2.\text{h}] \quad (2)$$

sau

$$Q_{cons.} = Q_{rad.} + Q_{conv.} + Q_{cond.} - Q_{rad.s} \quad [\text{kcal/h}] \quad (2)'$$

Egalitatea de mai sus este redată în figura 1.

Se ţine seamă că pierderile prin radiaţie, $Q_{rad}$, sînt formate din pierderile spre exterior ale solului, $Q^{(1)}_{rad}$, ale ţevilor de încălzire, $Q^{(2)}_{rad}$, (în ipoteza unor sere universale cu convecţie liberă) şi ale acoperişului transparent, $Q^{(3)}_{rad}$. De asemenea, pierderile prin conductibilitate, $Q_{cond}$, sînt formate din pierderile spre adîncimea solului, $Q^{(1)}_{cond.}$, cele perimetrice, $Q^{(2)}_{cond.}$, şi cele care au loc la nivelul acoperişului transparent, $Q^{(3)}_{cond.}$

$$q_{1cons.} = q^{(1)}_{1rad.} + q^{(2)}_{1rad.} + q^{(3)}_{1rad.} + q_{1conv.} + q^{(1)}_{1cond.} + q^{(2)}_{1cond.} + q^{(3)}_{1cond.} - q_{1rad.s.} \quad [\text{kcal/m}^2.\text{h}] \quad (3)$$

sau

$$Q_{cons.} = Q^{(1)}_{rad.} + Q^{(2)}_{rad.} + Q^{(3)}_{rad.} + Q_{conv.} + Q^{(1)}_{cond.} + Q^{(2)}_{cond.} + Q^{(3)}_{cond.} - Q_{rad.s.} \quad [\text{kcal/h}] \quad (3)'$$

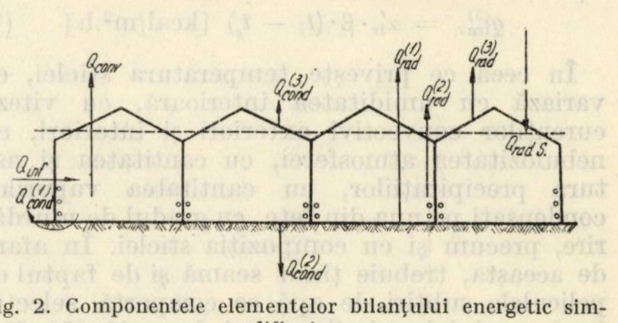


Fig. 2. Componentele elementelor bilanţului energetic simplificat.

Egalitatea (3)' este redată în figura 2.

În cele ce urmează se determină cantitativ ponderea fiecărui termen din egalitatea (3).

### 3. Pierderile de căldură prin radiaţie

Aceste pierderi au pondere redusă, dar nu neglijabilă, mai ales în cazul serelor încălzite cu apă fierbinte. Dacă se consideră radiaţiile proprii ale ansamblului, se poate folosi relaţia lui Walker (1965)

$$Q_{rad.} = 4{,}4 \cdot 10^{-8} \cdot S \cdot P \cdot (T_i^2 - T_e^2) \text{ [kcal/h]} \quad (4)$$

în cadrul căreia intră :

— radiaţia solului către exterior, care, referindu-se la suprafaţă unitară, este

$$q_{1rad.}^{(1)} = 4{,}4 \cdot 0{,}04 \cdot 10^{-8} \cdot (T_s^4 - T_e^4) \text{ [kcal/m}^2\text{.h]}; \quad (5)$$

— radiaţia ţevilor încălzitoare către exterior. Folosind aceeaşi relaţie, se obţine

$$Q_{rad.}^{(2)} = C_0 \cdot \varepsilon_t \cdot 10^{-8} \cdot (T_t^4 - T_e^4) \text{ [kcal/h]} \quad (6)$$

Dacă se consideră că sera este încălzită cu apă fierbinte care circulă prin ţevi amplasate în aer şi că radiază spre exterior numai suprafaţa exterioară a ţevilor de sus şi jumătate din suprafaţa exterioară a ţevilor de jos, va rezulta o valoare neglijabilă a lui $Q_{rad}^{(2)}$; deci acoperişul serei poate fi considerat ca un ecran termic pentru radiaţia ţevilor încălzitoare. Se mai poate face observaţia că, în perioada unui ciclu de cultură, chiar dacă temperatura solului şi a ţevilor rămîne constantă, radiaţia lor spre exterior variază în funcţie de dezvoltarea culturii.

Radiaţia acoperişului către exterior s-ar putea calcula uşor dacă s-ar cunoaşte temperatura sticlei pentru orice situaţie climatică exterioară şi interioară. Temperatura sticlei este determinată de valoarea temperaturii interioare, respectiv exterioare. Fluxul de căldură corespunzător radiaţiei proprii este o componentă a consumului total. În drumul său, căldura trece de pe faţa interioară a sticlei spre faţa exterioară (în anotimpul rece). Mărimea lui depinde în interior de $t_i$ şi $t_{st}$, iar în exterior de $t_e$ şi $t_{st}$. Eliminînd $t_{st}$ din ecuaţiile corespunzătoare fluxului termic pe ambele feţe, se obţine în final o expresie de forma

$$q_{1rad.}^{(3)} = \alpha'_{1r} \cdot \beta \cdot (t_i - t_e) \text{ [kcal/m}^2\text{.h]} \quad (7)$$

În ceea ce priveşte temperatura sticlei, ea variază cu umiditatea interioară, cu viteza curenţilor convectivi exteriori şi interiori, cu nebulozitatea atmosferei, cu cantitatea şi natura precipitaţiilor, cu cantitatea vaporilor condensaţi pe una din feţe, cu gradul de murdărire, precum şi cu compoziţia sticlei. În afară de aceasta, trebuie ţinut seamă şi de faptul că peliculele subţiri de apă se comportă selectiv în domeniul lungimilor mari de undă [7]. Rezultate utile în calculul radiaţiei proprii a serei le oferă Mierzwinski [5]. Astfel, coeficientul convectiv corespunzător radiaţiei oscilează între 0,3 kcal/m².h.grd, în cazul nebulozităţii maxime ($B = 1$) şi 2,1 kcal/m².h.grd pentru cerul complet senin ($B = 0$). Într-o primă aproximaţie se poate aprecia că $\alpha'_{1r}$ ia valori apropiate de limita inferioară, urmînd să se aplice corecţii, în urma verificărilor practice, dacă acest lucru este necesar. S-a considerat acest domeniu, deoarece în anotimpul rece ponderea zilelor senine este redusă, iar precipitaţiile pot reduce complet radiaţia proprie.

Introducînd noţiunea ,,coeficient de convecţie corespunzător radiaţiei'', relaţia (5) se poate scrie sub forma

$$q_{1rad.}^{(1)} = \alpha_{1r} \cdot (t_i - t_e) \text{ [kcal/m}^2\text{.h]} \quad (8)$$

în care $\alpha_{1r}$ are valori cuprinse între 0,13 şi 0,15 kcal/m².h.grd.

Se poate scrie, deci,

$$q_{1rad.} = q_{1rad.}^{(1)} + q_{1rad.}^{(2)} + q_{1rad.}^{(3)} \text{ [kcal/m}^2\text{.h]} \quad (9)$$

Dacă neglijăm $q_{1rad.}^{(2)}$ şi înlocuim relaţiile (7) şi (8) în (9), se obţine :

$$q_{1rad.} = (\alpha'_{1r} \cdot \beta + \alpha_{1r}) (t_i - t_e) \text{ [kcal/m}^2\text{.h]} \quad (10)$$

Deoarece la suprafeţe mari factorul supraunitar β tinde către unitate, relaţia (10) se mai poate scrie sub forma

$$q_{1rad} = \alpha_r \cdot \beta \cdot (t_i - t_e) \text{ [kcal/m}^2\text{.h]} \quad (11)$$

în care

$$\alpha_r = \alpha'_{1r} + \alpha_{1r} \text{ [kcal/m}^2\text{.h]} \quad (12)$$

### 4. Pierderile de căldură prin convecţie

Aceste pierderi au ponderea cea mai mare în ecuaţia de bilanţ energetic.

Relaţia clasică de schimb de căldură prin convecţie

$$Q_{conv.}^{(a)} = K \cdot S \cdot (t_i - t_e) \text{ [kcal/h]} \quad (13)$$

este aplicată în construcţiile de sere de către Adoratski (1936) [4] şi Gavrilov [8], sub forma :

$$Q_{conv.}^{(b)} = \beta \cdot K \cdot K' \cdot (t_i - t_e) \text{ [kcal/m}^2\text{.h)} \quad (14)$$

Coeficientul supraunitar β, reprezentînd suprafaţa de sticlă corespunzătoare unui m² de suprafaţă cultivată, precum şi factorul de infiltraţie $K'$ fac ca relaţia (14) să fie calitativ superioară relaţiei (13).

Alegerea coeficientului $K'$ întîmpină greutăţi, deoarece intervin concomitent două categorii de factori :

— factori constructivi, ca : înălţimea pereţilor, forma acoperişului, volumul de aer închis, învelişul transparent, modul de încălzire a serei şi modul de aşezare a învelişului transparent pe scheletul de rezistenţă ;

— factori variabili în timp, ca : direcţia şi intensitatea vîntului, umiditatea interioară şi exterioară.

Analizînd influența fiecărui factor, se poate demonstra că :

— Pierderile prin convecție sînt cu atît mai pronunțate, cu cît pereții laterali sînt mai înalți. Astfel, după cercetările lui Reyer, citat de Goleand (1963) [6], în cazul unui flux de aer normal la suprafață coeficientul de convecție termică se poate mări de șapte ori în comparație cu coeficienții obținuți în cazul unui flux paralel.

— Forma acoperișului trebuie aleasă în așa fel, încît o suprafață cît mai mică să fie expusă vîntului predominant.

— Volumul de aer închis de învelișul transparent nu rămîne complet izolat de mediul exterior, datorită neetanșeităților. În cazul apariției vîntului, de exemplu, pătrunde în interior un volum de aer ce înlocuiește aerul cald, care este evacuat prin neetanșeitatea pereților laterali opuși. Acest fenomen se observă mai bine la serele de mici dimensiuni. Relații empirice ca :

$$n_{sc} = 0{,}53.\, w \text{ [schimburi/oră]} \qquad (15)$$

fără a specifica tipul și mărimea serei, nu satisfac, în special la serele de mari dimensiuni.

— Alegerea modului de încălzire a serelor trebuie să se facă ținînd seamă că este necesar să se asigure o repartiție uniformă a temperaturii pe toată suprafața cultivată. S-a constatat că la serele universale de mari dimensiuni, cu convecție liberă, zona periferică are o temperatură mai scăzută decît zona centrală, îndeosebi la apariția vîntului. Una dintre cauze poate fi aceea că aerul rece, infiltrat prin peretele lateral, are în interior o viteză foarte redusă (sub 0,1 m/h), în timp ce curenții convectivi de aer cald au viteze mai mari (0,3 — 0,5 m/h), astfel încît difuzia aerului rece pe orizontală se face încet. Curenții ascendenți convecției formează un fel de „perdea" care se opune deplasării pe orizontală a aerului rece infiltrat. La aceasta se mai adaugă și rezistența suplimentară opusă de plante.

— Modul de chituire a ferestrelor, materialul din care este confecționată rama, mărimea și etanșarea ferestrelor rabatabile influențează, de asemenea, coeficientul de infiltrație.

— Vîntul creează o ușoară suprapresiune la fața exterioară a peretelui, introducînd un volum ($V$) de aer prin neetanșeități, care în sezonul rece va trebui încălzit. Deci

$$Q_{inf.} = 0{,}31 \cdot V \cdot (t_i - t_e) \text{ [kcal/h]} \qquad (16)$$

în care

$$V = L' \cdot a \cdot (p_k - p_b) \text{ [m}^3\text{]} \qquad (17)$$

Întrucît nu pot fi apreciate cu exactitate valorile lui $L$ și $a$, $Q_{inf.}$ introduce erori de calcul.

— Entalpia aerului infiltrat este funcție de umiditatea relativă (cu cît aerul este mai uscat cu atît va fi necesară mai multă căldură pentru a-l încălzi la nivelul temperaturii interioare). Umezeala interioară rezultată din evapotranspirația plantelor și din evaporarea apei din sol*) este influențată de aerul infiltrat, în special cînd infiltrațiile sînt pronunțate. În general, aerul rece cu temperatura sub 0°C, amestecîndu-se cu aerul interior, reduce umiditatea amestecului.

În relațiile (13) și (14), $K$ se calculează cu formula clasică :

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\dfrac{1}{\alpha_i} + \dfrac{1}{\alpha_e} + \dfrac{\delta}{\lambda}} \text{ [m}^2\text{.h.grd/kcal]} \qquad (18)$$

La serele cu acoperișul compus dintr-un singur strat, valoarea $\dfrac{\delta}{\lambda}$ variază între 0,020 și 0,001 kcal/m².h.grd, putîndu-se neglija.

Deci

$$K = \frac{\alpha_i \cdot \alpha_e}{\alpha_i + \alpha_e} \text{ [kcal/m}^2\text{.h.grd]} \qquad (19)$$

În majoritatea lucrărilor de specialitate este redată valoarea medie a acestui coeficient ($K = 6{,}3 \ldots 6{,}8$ kcal/m².h.grd). În realitate el variază, deoarece $\alpha_i$ este o funcție de viteza curenților convectivi interiori, deci de temperatura și natura agentului, de tipul de încălzire, de temperatura învelișului, de intensitatea infiltrațiilor, iar $\alpha_e$ este o funcție de viteza vîntului.

O formulare interesantă a pierderilor de căldură prin convecție o dă Gac (1967) [9], care propune formula

$$Q^{(c)}_{conv.} = \frac{\alpha_i \cdot \alpha_e}{\alpha_i + \alpha_e}\left[1 + \pi_n \left(\frac{\alpha_i \cdot \alpha_e}{\alpha_i + \alpha_e}\right)^{n-1} \cdot \frac{i_i - i_e}{t_i - t_e}\right] \cdot S \cdot (t_i - t_e) \text{ [kcal/h]} \qquad (20)$$

sau

$$q_{1conv.} = \frac{\alpha_i \cdot \alpha_e}{\alpha_i + \alpha_e}\left[1 + \pi_n \left(\frac{\alpha_i \cdot \alpha_e}{\alpha_i + \alpha_e}\right)^{n-1} \cdot \frac{i_i - i_e}{t_i - t_e}\right] \cdot \beta \cdot (t_i - t_e) \text{ [kcal/m}^2\text{.h]} \qquad (21)$$

Această relație, asemănătoare cu (13), considerată de autori ca satisfăcătoare, va fi analizată pe larg cu prilejul calculului nomogramei consumului specific de căldură.

## 5. Pierderile de căldură prin conductibilitate

Aceste pierderi sînt formate din pierderile prin acoperiș, care se neglijează datorită valorii reduse a căldurii specifice a aerului, și din

*) Cantitatea de căldură obținută din sol pentru evaporarea unei părți din umezeala solului nu apare în bilanțul total, deoarece se regăsește în aerul din interior și în căldura cedată prin condensarea vaporilor de apă pe peretele interior al învelișului transparent.

pierderile în sol, care se subîmpart în pierderi în profunzime (pe verticală) și pierderi perimetrice (pe orizontală). După Rojanskaia și Koliaceva (1962) [10], pierderile în sol variază între 0,3 și 0,6 kcal/m$^2$.h.

Se poate adăuga că aceste pierderi sînt funcție de natura și umiditatea solului, nivelul apei freatice și frecvența stropirilor.

Coeficientul de conductibilitate al solului oscilează între 0,5 și 2,0 kcal/m.h.grd. Deci, la aceeași diferență de temperatură, pierderile se pot împătri o dată cu umectarea solului. Acest lucru impune ca, pentru evitarea măririi pierderilor perimetrice, să se evite umectarea solului în imediata apropiere a soclului de beton; de asemenea, impune să se evite construcția serelor pe terenuri cu pînza freatică aproape de suprafața cultivată.

Răcirea solului, o dată cu trecerea anotimpului rece, provoacă creșterea pierderilor de căldură spre profunzime, în special la serele de mici dimensiuni. Deci serele mari sînt avantajoase din punctul de vedere al pierderilor de căldură spre profunzime.

Considerațiile sînt valabile pentru serele cu solul neîncălzit. În cazul în care solul este încălzit, pierderile spre profunzime cresc considerabil.

### 6. Aportul de căldură al radiației solare

Radiația solară are un efect diminuant asupra consumului de căldură, așa cum rezultă din relația (2). Există relații de calcul al fluxului de căldură recepționat sub învelișul transparent, însă aplicabilitatea lor aduce erori în determinare. De aceea autorii au optat pentru folosirea rezultatelor obținute prin măsurători directe. Rezultate cu caracter de generalizare au fost obținute și de Dogneaux [11]. Astfel, în urma a numeroase măsurători, s-a stabilit că sub învelișul de sticlă pătrunde 0,8 ÷ 0,85 din căldura solară care cade pe o suprafață orizontală. Pe de altă parte, Businger (1966) afirmă că, pentru sere mari-bloc, suprafața acoperișului se poate aprecia ca fiind orizontală și egală cu suprafața cultivată. Deci, în determinările practice se pot folosi direct măsurătorile actinometrice ale stațiilor meteorologice, care se vor multiplica cu coeficientul 0,85.

### 7. Nomograma pentru calculul consumului specific de căldură al serelor-bloc

Relația (1) este aplicabilă numai în regim staționar. Datorită inerției termice extrem de redusă a serei, precum și datorită faptului că necesarul de căldură este o funcție de mai multe variabile aleatorii, rezultă că regimul tranzitoriu este predominant. Pentru obținerea unei economii de căldură se impune, așadar, realizarea unui instrument eficient de calcul, cu ajutorul căruia să se poată determina imediat necesarul de căldură, care trebuie distribuit uniform pe întreaga suprafață cultivată.

Dacă se ține seama de (19) și se notează

$$\frac{i_i - i_e}{t_i - t_e} = L \text{ [kcal/m}^3\text{.grd]} \quad (22)$$

relația (21) capătă forma

$$q_{1conv.} = K \cdot (1 + \pi_n \cdot K^{n-1} \cdot L) \cdot \beta \cdot (t_i - t_e). \text{ [kcal/m}^2\text{.h]} \quad (23)$$

Notînd

$$K_{conv.} = K \cdot (1 + \pi_n \cdot K^{n-1} L) \text{[kcal/m}^2\text{.h.grd]} \quad (24)$$

relația (23) capătă forma

$$q_{1conv.} = K_{conv.} \cdot \beta \cdot (t_i - t_e) \text{ [kcal/m}^2\text{.h]} \quad (23)'$$

sau

$$Q_{conv.} = K_{conv.} \cdot S \cdot (t_i - t_e) \text{ [kcal/h]} \quad (23)''$$

Se observă asemănarea între (23)″ și (13). Relația (23)″ reprezintă însă o formă perfecționată a relației (13), deoarece coeficientul $K_{conv.}$ nu are o valoare medie, ci reprezintă o funcție de mai multe variabile, incluzînd și perturbația convecției datorită aerului infiltrat prin neetanșeități.

La serele complet etanșe, factorul de penetrabilitate este nul ($\pi_n = 0$), deci $K_{conv.} = K$.

La serele-bloc cu suprafețe mari, pierderile spre profunzimea solului se pot neglija și ecuația (1) se va putea scrie, ținînd seama de (11) și (23)′, astfel :

$$q_{1cons.} = (\alpha_r + K_{conv.}) \cdot \beta \cdot (t_i - t_e) - q_{1rad.s.} \quad (25)$$

Relația (25) se poate transpune sub forma unei nomograme. Se redă mai jos o parte din calculele care au condus la trasarea nomogramei în două variante :

Varianta I : $\pi_n = 0{,}19$ ; $n = 1{,}7$
Varianta II : $\pi_n = 0{,}11$ ; $n = 2$

Folosind relațiile oferite de Gac (1967) [9]

$$d = \pi_n \cdot \left( \frac{\alpha_i \cdot \alpha_e}{\alpha_i + \alpha_e} \right)^n \text{ [m/h]} \quad (26)$$

în care

$$\alpha_i = 4 + 0{,}5.d \text{ [kcal/m}^2\text{.h]} \quad (27)$$

$$\alpha_e = 5 + 3{,}5 \cdot w \text{ [kcal/m}^2\text{.h] pentru } 0 \leqslant w \leqslant 5 \text{ m/s} \quad (28)$$

Din (26), (27) și (28) se poate deduce că, la o anumită valoare a vitezei vîntului, pentru un $K$ ales, în una din variante, rezultă o valoare a lui $d$, deci o valoare a lui $\alpha_i$. Cu alte cuvinte, vîntul determină atît convecția interioară cît și pe cea exterioară, deci determină valoarea lui $K$. Așadar,

$$K = K(w) \quad (29)$$

*Tabe[lul 1]*

**Variaţia coeficientului convecţiei (K) în funcţie de viteza vîntului, varianta I**

| w, m/s | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 14 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $K, \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{.h. grd}}$ | 2,36 | 2,99 | 3,40 | 3,72 | 3,94 | 4,13 | 4,28 | 4,43 | 4,54 | 4,64 | 4,74 |

Dacă se dau în continuare valori obişnuite ale lui $L$, se va obţine un tabel care reprezintă variaţia lui $K_{conv.}$ funcţie de $w$ şi $L$.

$$K_{conv.} = K_{conv.}\,(w, L) \qquad (30)$$

dar

$$L = L\,(\varphi_i,\, \varphi_e,\, t_i,\, t_e) \qquad (31)$$

deci

$$K_{conv.} = K_{conv.}\,(w,\, \varphi_i,\, \varphi_e,\, t_i,\, t_e) \qquad (32)$$

Relaţiile (26) şi (27) sînt valabile numai pentru $0 \leqslant w \leqslant 5$ m/s.

Pentru domeniul vitezelor mari, în literatură se găseşte expresia

$$\alpha_e = 6{,}14.w^{0,78} \text{ pentru } w \geqslant 5 \text{ m/s} \qquad (33)$$

Pentru convecţia interioară se foloseşte tot expresia (27).

### 7.1. *Calculul nomogramei în varianta I*

$$d = 0{,}19\cdot\left(\frac{\alpha_i\cdot\alpha_e}{\alpha_i+\alpha_e}\right)^{1,7} \qquad (34)$$

de unde

$$\alpha_e = \frac{\left(\dfrac{d}{0{,}19}\right)^{\frac{1}{1,7}}}{1-\left(\dfrac{1}{\alpha_i}\right)\left(\dfrac{d}{0{,}19}\right)^{\frac{1}{1,7}}} \qquad (35)$$

Din ecuaţiile (28) şi (33) rezultă

$$w = \frac{\alpha_e - 5}{3{,}5} \text{ pentru } 0 \leqslant w \leqslant 5 \text{ m/s} \qquad (36)$$

respectiv

$$w = \left(\frac{\alpha_e}{6{,}14}\right)^{\frac{1}{0,78}} \text{ pentru } w \geqslant 5 \text{ m/s} \qquad (37)$$

Din relaţiile (35), (36) şi (37) rezultă următoarea pereche de valori :

| d, m/h | 1,23 | 1,595 | 1,792 | 2,015 | 2,17 |
|---|---|---|---|---|---|
| w, m/s | 1,02 | 2,270 | 2,990 | 4,290 | 5,550 |

respectiv

| d, m/h | 2,360 | 2,545 | 2,740 | 2,94 |
|---|---|---|---|---|
| w, m/s | 6,31 | 8,00 | 10,75 | 14,3 |

În urma reprezentării grafice se obţin ecuaţiile dreptelor $d = d\,(w)$ :

$$d = \frac{w+3}{3{,}25} \text{ pentru } 0 \leqslant w < 3 \text{ m/s}$$

$$d = \frac{w+10{,}54}{7{,}5} \text{ pentru } 3 \leqslant w \leqslant 5 \text{ m/s}$$

$$\qquad (38)$$

$$d = \frac{w+7{,}3}{5{,}75} \text{ pentru } 5 \leqslant w < 7 \text{ m/s}$$

$$d = \frac{w+30{,}4}{14{,}78} \text{ pentru } 7 \leqslant w \leqslant 14 \text{ m/s}$$

Cu ajutorul relaţiilor (38) se poate calcula $\alpha_i = \alpha_i\,(w)$, folosindu-se relaţia (27), iar cu relaţiile (28) şi (33) se calculează $\alpha_e = \alpha_e\,(w)$. Introducînd aceste valori în (19), se obţine funcţia (29), reprezentată în tabelul 1.

Relaţia (24) capătă acum forma

$$K_{conv.} = K\,(1 + 0{,}19\cdot K^{1,7-1}\cdot L) \qquad (24)'$$

Înlocuind valorile lui $K$ din tabelul 1 şi acordînd lui $L$ valori cuprinse între 0,3 şi 1,1, se obţin valorile din tabelul 2.

*Tabelul 2*

**Variaţia coeficientului de convecţie ($K_{conv}$) în funcţie de $w$ şi $L$ — varianta I**

| L, kcal/m³.grd / w, m/s | $K_{conv.}$, kcal/m².h.grd 0,3 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 1,1 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 2,61 | 2,77 | 2,94 | 3,09 | 3,25 |
| 1 | 3,36 | 3,61 | 3,85 | 4,09 | 4,21 |
| 2 | 3,85 | 4,18 | 4,46 | 4,78 | 5,05 |
| 3 | 4,27 | 4,60 | 4,96 | 5,32 | 5,69 |
| 4 | 4,53 | 4,92 | 5,31 | 5,77 | 6.10 |
| 5 | 4,76 | 5.18 | 5,62 | 6,17 | 6,48 |
| 6 | 4,94 | 5,41 | 5,86 | 6,30 | 6,74 |
| 7 | 5,17 | 5,62 | 6,09 | 6,54 | 7,04 |
| 8 | 5,30 | 5,78 | 6,30 | 6,78 | 7,29 |
| 9 | 5,41 | 5,91 | 6,45 | 6,99 | 7,49 |
| 10 | 5,54 | 6,10 | 6,60 | 7,18 | 7,68 |
| 14 | 5,79 | 6,28 | 6,97 | 7,55 | 8,15 |

### 7.2. *Calculul nomogramei în varianta II*

$$d = 0{,}11 \cdot \left( \frac{\alpha_i \cdot \alpha_e}{\alpha_i + \alpha_e} \right)^2 \qquad (34)'$$

de unde

$$\alpha_e = \frac{\left( \frac{d}{0{,}11} \right)^{\frac{1}{2}}}{1 - \left( \frac{1}{\alpha_i} \right) \cdot \left( \frac{d}{0{,}11} \right)^{\frac{1}{2}}} \qquad (35)'$$

Din relațiile (35)', (36) și (37) rezultă următoarele perechi de valori :

Din analiza tabelelor 2 și 2' se poate observa domeniul larg de variație a lui $K_{conv.}$. Acest lucru concordă cu observațiile făcute de Mierzwinski [5].

### 7.3. *Trasarea nomogramei*

Dacă se ține seamă de influența factorului de masivitate $m$, precum și de influența orientării

| d, m/h | 0,689 | 0,831 | 0,990 | 1,138 | 1,346 | 1,543 | 1,760 | 1,843 | 1,938 | 2,025 | 2,135 | 2,22 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| w, m/s | 0,262 | 0,67 | 1,158 | 1,83 | 2,57 | 3,57 | 4,91 | 5,88 | 6,78 | 7,55 | 8,8 | 10,0 |

În urma reprezentării grafice se obțin ecuațiile dreptelor :

$$d = \frac{w + 2{,}41}{3{,}82} \quad \text{pentru } 0 \leqslant w \leqslant 3 \text{ m/s}$$

$$d = \frac{w + 5{,}50}{6} \quad \text{pentru } 3 \leqslant w \leqslant 5 \text{ m/s} \qquad (38)$$

$$d = \frac{w + 12{,}5}{10} \quad \text{pentru } w \geqslant 5 \text{ m/s}$$

În același mod se obțin valorile din tabelul 1'.

serei față de direcția predominantă a vîntului $\xi$, putem scrie

$$q_{1cons.} = (K_{conv.} \cdot \beta + \alpha_r \cdot \beta) \cdot m \cdot \xi \cdot (t_i - t_e) - q_{1rad.s.} \qquad (39)$$

sau

$$q_{1cons.} = K_{conv.} \left( 1 + \frac{\alpha_r}{K_{conv.}} \right) \cdot \beta \cdot m \cdot \xi \cdot (t_i - t_e) - q_{1rad.s.} \qquad (39)'$$

și, în definitiv,

$$q_{1cons.} = K_{conv.} \cdot \beta' \cdot (t_i - t_e) \qquad (39)''$$

*Tabelul 1'*

**Variația coeficientului de convecție în funcție de viteza vîntului, varianta II**

| w, m/s | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12,4 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| K, kcal/m².h.grd | 2,32 | 2,925 | 3,31 | 3,3 | 3,83 | 4,00 | 4,13 | 4,24 | 4,33 | 4,42 | 4,51 | 4,69 | 4,87 |

Relația (24) va avea forma :

$$K_{conv.} = K \cdot (1 + 0{,}11 \cdot K \cdot L) \qquad (24)''$$

Dînd valori convenabile lui $L$ se obține tabelul 2'.

*Tabelul 2'*

**Variația coeficientului de convecție ($K_{conv.}$) în funcție de $w$ și $L$, varianta II**

| w, m/s \ L, kcal/m³.h | $K_{conv.}$, kcal/m².h.grd 0,3 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 1,1 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 2,48 | 2,615 | 2,725 | 2,85 | 2,97 |
| 1 | 3,20 | 3,40 | 3,59 | 3,77 | 3,96 |
| 2 | 3,665 | 3,91 | 4,14 | 4,39 | 4,625 |
| 3 | 4,062 | 4,31 | 4,59 | 4,86 | 5,17 |
| 4 | 4,31 | 4,64 | 4,96 | 5,28 | 5,62 |
| 5 | 4,525 | 4,90 | 5,26 | 5,585 | 5,95 |
| 6 | 4,70 | 5,08 | 5,52 | 5,81 | 6,20 |
| 7 | 4,84 | 5,22 | 5,62 | 6,01 | 6,41 |
| 8 | 4,96 | 5,34 | 5,78 | 6,19 | 6,60 |
| 9 | 5,08 | 5,51 | 5,94 | 6,37 | 6,79 |
| 10 | 5,18 | 5,63 | 6,08 | 6,53 | 6,99 |
| 12,5 | 5,41 | 5,89 | 6,40 | 6,89 | 7,38 |
| 15 | 5,65 | 6,18 | 6,70 | 7,22 | 7,75 |

în care

$$\beta' = \left( 1 + \frac{\alpha_r}{K_{conv.}} \right) \cdot \beta \cdot m \cdot \xi \qquad (40)$$

Folosind tabelele 1, 1' și 2, 2' și relația consumului specific prezentată sub forma (39)'', au putut fi trasate nomogramele prezentate în figurile 3 și 4.

### 7.4. *Avantajele și dezavantajele nomogramei*

Avantaje :

*1.* Permite determinarea rapidă a necesarului specific de căldură, ca funcție de nouă elemente : factorul constructiv $\beta$, factorul de masivitate $m$ și parametrii climatologici (temperatura exterioară și interioară, direcția vîntului față de coama serei, viteza vîntului, umiditatea exterioară și interioară, radiația solară).

*2.* Se poate utiliza pentru determinări momentane, în cazul reglajului de la dispecer, sau se pot face anticipări de consum săptămînale, decadale, lunare, anuale, sau pe baza prognozelor meteorologice sau folosind valorile medii ale climatului exterior determinate statistic.

*3.* Are un caracter general, nedepinzînd de poziția geografică a locului pe care sînt amplasate serele.

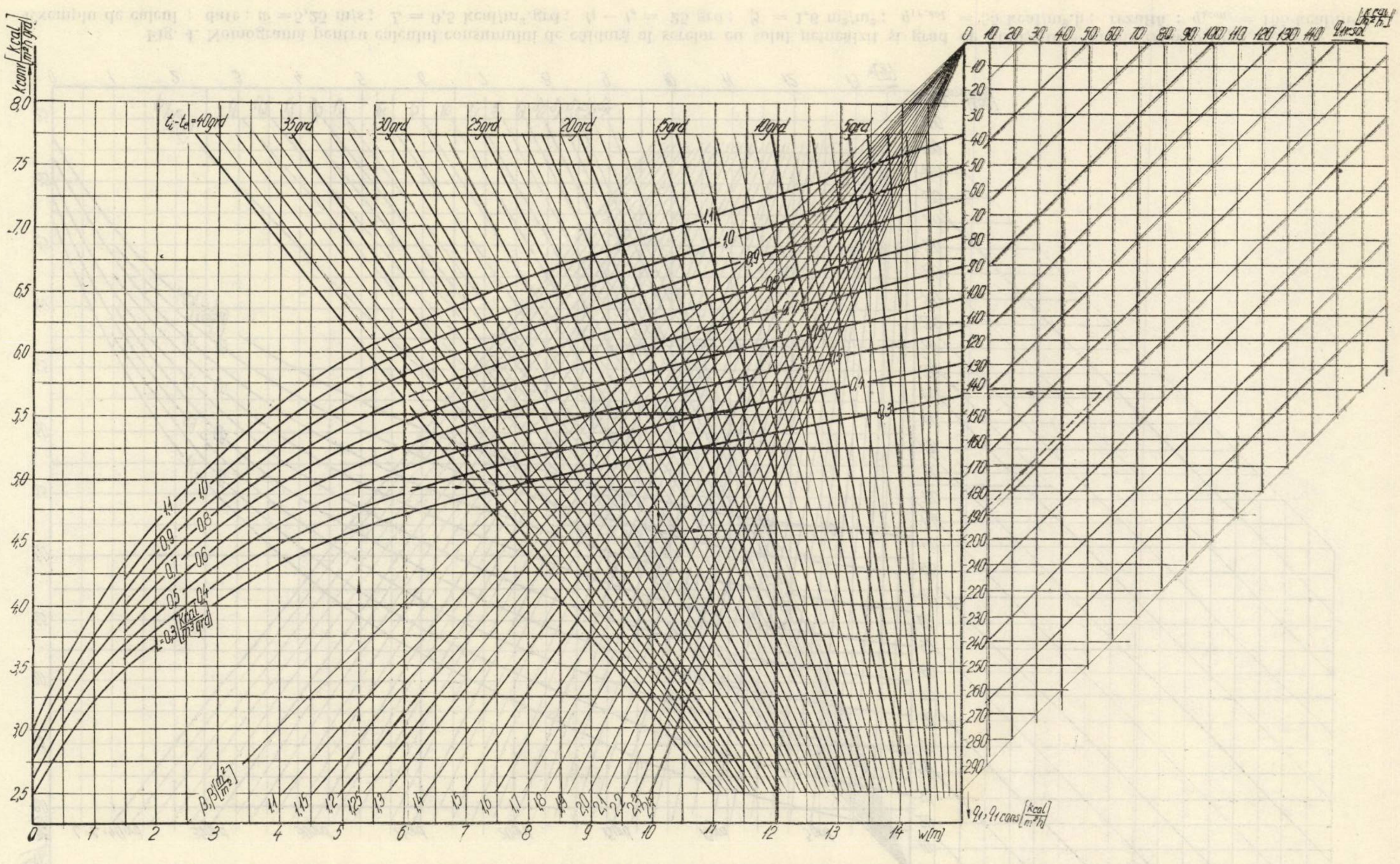



Fig. 3. Nomogramă pentru calculul consumului de căldură al serelor cu solul neîncălzit și grad de etanșeitate ridicat ($\pi = 0{,}11$).

Exemplu de calcul: **date:** $w = 5{,}25$ m/s; $L = 0{,}5$ kcal/m³.grd; $t_i - t_e = 25$ grd; $\beta' = 1{,}6$ m²/m²; $q_{1r,sol.} = 55$ kcal/m².h; **rezultă**: $q_{1cons.} = 140{,}8$ kcal/m².h.

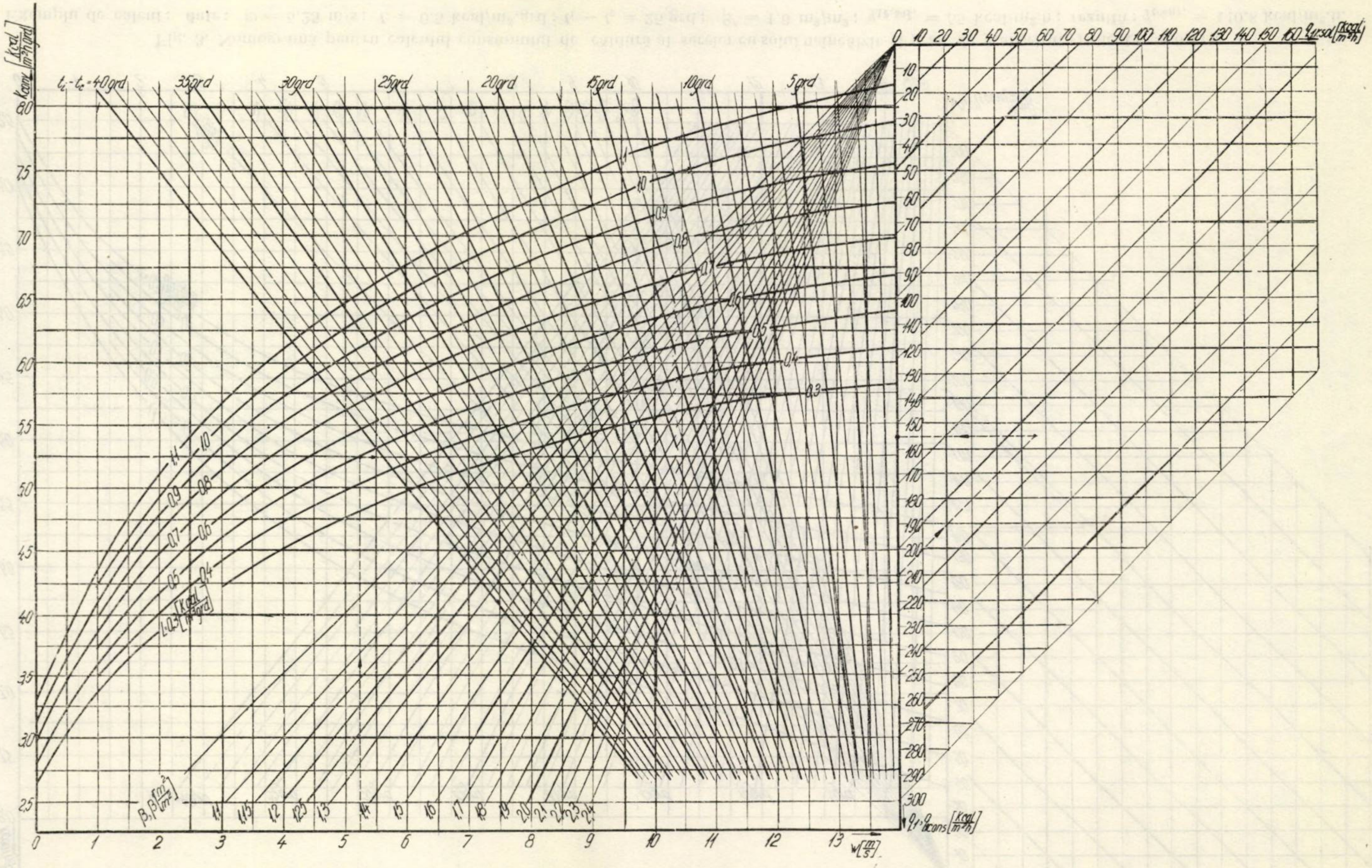


Fig. 4. Nomogramă pentru calculul consumului de căldură al serelor cu solul neîncălzit și grad de etanșeitate mediu ($\pi = 0,19$).
Exemplu de calcul : **date** : $w = 5,25$ m/s ; $L = 0,5$ kcal/m³.grd ; $t_i - t_e = 25$ grd ; $\beta' = 1,6$ m²/m² ; $q_{1r.sol.} = 55$ kcal/m².h ; **rezultă** : $q_{1cons} = 155$ kcal/m².h.

*4.* Citirile făcîndu-se în raport cu diferenţa $t_i - t_e$, este evitată încărcarea nomogramei cu dreptele $t_i$ = ct. şi $t_e$ = ct.

*5.* Nomograma verifică concluziile practice la care pentru $t_i - t_e = 0 \to q_{1cons.} = 0$.

*6.* Se poate aplica la mai multe tipuri de sere, după ce în prealabil a fost stabilit gradul de neetanşeitate şi s-a calculat coeficientul $\beta'$.

Dezavantaje :

*1.* Introduce aproximaţii datorită gradului de acoperire a solului cu vegetaţie şi apariţiei umidităţii pe faţa interioară a sticlei. În acest fel este influenţat $\alpha_r$, care are însă o valoare redusă, după cum rezultă din calculele efectuate de autori (funcţie de parametrii care intervin în relaţia respectivă). De aceea, se consideră că erorile respective sînt compensate de pierderile prin conductibilitatea solului, care sînt neglijate.

*2.* Coeficientul de masivitate *m* se va stabili în viitor, el caracterizînd efectul de apropiere dintre sere. Astfel, serele grupate consumă mai puţină căldură decît o suprafaţă echivalentă realizată sub formă de sere dispersate. În nomogramă s-a considerat $m = 1$.

*3.* Verificările rezultatelor nomogramei s-au făcut pentru sere a căror orientare a coincis cu direcţia predominantă a vîntului. Nu s-au stabilit însă corecţiile care să ţină seamă de neconcordanţa între direcţia predominantă a vîntului şi cea a coamei serei.

*4.* Nu s-au stabilit corecţiile care să ţină seamă şi de precipitaţii.

**Notaţii**

$q_{1cons.}$ — cantitatea orară de căldură consumată pe unitatea de suprafaţă cultivată, kcal/m.$^2$h ;
$q_{1pierd.}$ — cantitatea orară de căldură pierdută pe unitatea de suprafaţă cultivată, kcal/m.$^2$h ;
$Q_{cons.}$ — cantitatea orară de căldură consumată, kcal/h ;
$Q_{pierd.}$ — cantitatea orară de căldură pierdută, kcal/h ;
$q_{1rad.}$ — cantitatea orară de căldură pierdută prin radiaţie pe unitatea de suprafaţă, kcal/m$^2$.h ;
$q_{1conv.}$ — cantitatea orară de căldură pierdută prin convecţie pe unitatea de suprafaţă, kcal/m$^2$.h ;
$q_{1cond.}$ — cantitatea orară de căldură pierdută prin conductibilitate pe unitatea de suprafaţă,kcal/m$^2$.h ;
$q_{1rad.s.}$ — cantitatea orară de căldură primită de la soare şi înregistrată în seră pe unitatea de suprafaţă, kcal/m$^2$.h ;
$Q_{rad.}$ — cantitatea de căldură pierdută prin radiaţie, kcal/h ;
$Q_{conv.}$ — cantitatea orară de căldură pierdută prin convecţie, kcal/h ;
$Q_{cond.}$ — cantitatea orară de căldură pierdută prin conductibilitate, kcal/h ;
$Q_{rad.s.}$ — cantitatea orară de căldură primită de la soare şi înregistrată în seră, kcal/h ;
$S$ — suprafaţa de referinţă, m$^2$ ;
$P$ — factor de transparenţă determinat empiric ($P$ = 0,8 la polietilenă ; $P$ = 0,3 la policlorură de vinil şi $P$ = 0,04 la sticlă) ;
$T_i$ — temperatura interioară, °K ;
$T_e$ — temperatura exterioară, °K ;
$T_s$ — temperatura solului, °K ;
$C_0$ — coeficient de negreală, kcal/m$^2$.h.°K$^4$ ;
$\varepsilon_t$ — coeficient de negreală pentru ţevi ;
$T_t$ — temperatura ţevilor, °K ;
$\alpha_{1r}$ — coeficient convectiv de transmisie a căldurii, corespunzător radiaţiei acoperişului, kcal/m$^2$.h.grd ;
$t_i$ — temperatura interioară, °C ;
$t_e$ — temperatura exterioară, °C ;
$\beta$ — suprafaţa vitrală a serei corespunzătoare unui m$^2$ de suprafaţă cultivată, m$^2$ sticlă/m$^2$ sol ;
$\alpha_{ir}$ — coeficient de convecţie corespunzător pierderilor prin radiaţia solului ;
$K$ — coeficient global de transmisie a căldurii, kcal/m$^2$.h.grd ;
$K'$ — coeficient de infiltraţie a aerului ;
$w$ — viteza vîntului, m/s ;
$n_{sc}$ — numărul de schimburi pe oră, schimburi/oră ;
$Q_{inf}$ — cantitatea orară de căldură folosită pentru încălzirea aerului infiltrat, kcal/h ;
$V$ — volumul de aer introdus prin neetanşeitate, m$^3$ ;
$L'$ — lungimea neetanşeităţilor, m ;
$a$ — factor de calitate a geamurilor, 3 ÷ 10 ;
$p_k - p_b$ — diferenţa de presiune dintre aerul interior şi exterior, mm col. $H_2O$ ;
$\alpha_i$ — coeficient de convecţie interioară,kcal/m$^2$.h.grd ;
$\alpha_e$ — coeficient de convecţie exterioară, kcal/m$^2$h grd ;
$\delta$ — grosimea peretelui, m ;
$\lambda$ — coeficient de conductibilitate, kcal/m.h.grd ;
$\pi_n$ — factor de penetrabilitate determinat experimental (0,1—0,23, la serele olandeze 0,19) ;
$n$ — exponent determinat teoretic ($n$ = 1,7 sau $n$ = 2) ;
$i_i$ — entalpie volumetrică interioară, kcal/m$^3$ ;
$i_e$ — entalpia volumetrică exterioară, kcal/m$^3$ ;
$d$ — viteza de neetanşeităţi, m/h ;
$\varphi$ — umiditatea relativă ($\varphi_i$ — interioară ; $\varphi_e$ — exterioară), %/100.

**Bibliografie**


[1] B o u c h e t, R. şi D a m a g n e z, J. *Etude théorique du bilan d'énergie des serres.* 4ᵉ Congrés international du chauffage et de la climatisation. Paris, mai 1967.

[2] A r m f r i e v, L. N. şi P o z i n, G. M. *Metod teplotehniceskovo raşceta kultivaţionnîh soorujenii.* Sbornik trudov, Moscova, 1967.

[3] V ɛ n W i y k, V. h. *Phisics of plant environment.* North-Holland Publishing Cy. Amsterdam, 1963.

[4] A d o r a t s k i. *Osnovî teorii teplicinîh soorujenii.* Moscova, 1939.

[5] T e d y n a k, S. şi T u r k i e w i c s k, M. *Straty ciepla szklarni.* Gaz, Woda i Teh. San. nr. 3, 1968 (R.P.P.).

[6] G o l e a n d, M. M. *Calculul şi încercarea izolaţiei termice.* Bucureşti, 1963.

[7] V l ă d e a, I. *Manual de termotehnică.* Vol. II, Bucureşti, 1965.

[8] G a v r i l o v, N. I. *Ispolzovanie solnecinoi energhii zascisciounom grunte.* Moskovskii rabocii, Moscova, 1963.

[9] G a c, A., J a q o u t, M., F o u c a u l t, J., G e r a r d, A. şi R i v e t, P. *L'étancheité à l'air des serres.* 4ᵉ Congrès international du chauffage et de la climatisation. Paris, 1967.

[10] R o j a n s k a i a, O. D. şi K o l i a c e v a, B. A. *Teplovoi balans i mikroklimat uteplennova grunta pri ispolzovanii legkih ukrîtii iz polietilenovoi plenki.* Moscova, 1961.

[11] N i s e n, A. *Echanges par rayonnement dans les serres.* 4ᵉ Congrès international du chauffage et de la climatisation. Paris, 1967.

[12] A t h a n a s o v i c i, V. şi G i u v e l e a, P. *Alimentarea cu căldură a complexelor de sere legumicole.* Energetica 19, nr. 12, 1971.


**(Articol intrat in redacţie la 12 aprilie 1971)**

# Amplasarea direct în pămînt a rețelelor de termoficare

Dr. ing. H. E. Brachetti*)

### 1. Amplasarea în canale a rețelelor de termoficare

La amplasarea în canal, conductele de termoficare nu preiau sarcini exterioare provenite din circulație, șocuri etc., ceea ce constituie un avantaj important în dimensionarea și durata de viață a acestora. Partea de construcție — canalul — constituie un sistem de rezistență în jurul conductelor de transport al căldurii, care preia integral sarcinile exterioare statice și dinamice ce pot apărea și pe care le descarcă la fundație.

Canalul de termoficare este un sistem de rezistență format dintr-un radier armat pe care se sprijină plăci de acoperire din beton armat prefabricat, în formă de mîner de coș, sau elemente din beton armat prefabricat de tip U cu plăci de acoperire tot din beton armat prefabricat, de obicei plane, cu o ușoară pantă (fig. 1 și 2).

Radierul armat se sprijină pe pămînt virgin, respectiv pe un strat întrerupător de capilaritate turnat pe pămînt. Acoperirea acestui strat cu carton bituminat se face pentru separarea clară a straturilor și, într-o măsură mai redusă, pentru protecția împotriva umidității de infiltrație. Dacă pot apărea nivele de ape freatice ridicate, în locul stratului întrerupător de capilaritate se introduce un drenaj cu conducte amplasate pe ambele părți ale radierului (fig. 3).

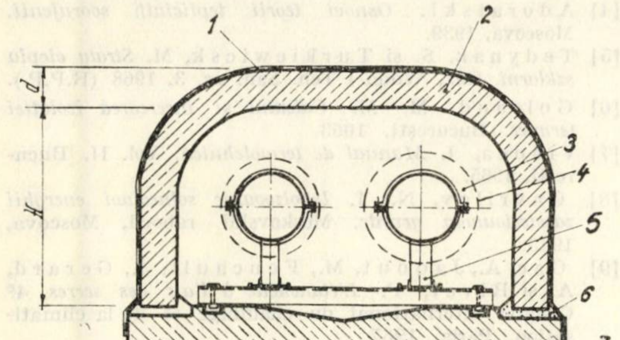



Fig. 1. Canal de termoficare cu placă prefabricată din beton armat în formă de mîner de coș, după W. Gőtzen : 1 — izolație hidrofugă din bitum ; 2 — placă prefabricată din beton armat, în formă de mîner de coș ; 3 — izolație termică ; 4 — izolație hidrofugă ; 5 — suport alunecător ; 6 — mortar de ciment ; 7 — radier din beton armat monolit.

*) Dr. ing. Hans Elmar Brachetti este inginer—șef la centralele electrice din Hanovra și membru al corpului didactic universitar cu angajare specială temporară.

Pentru preluarea dilatărilor termice, radierul este împărțit în secțiuni prin straturi elastice, a căror lungime se determină ținînd seamă și de sensibilitatea de tasare a construcției.

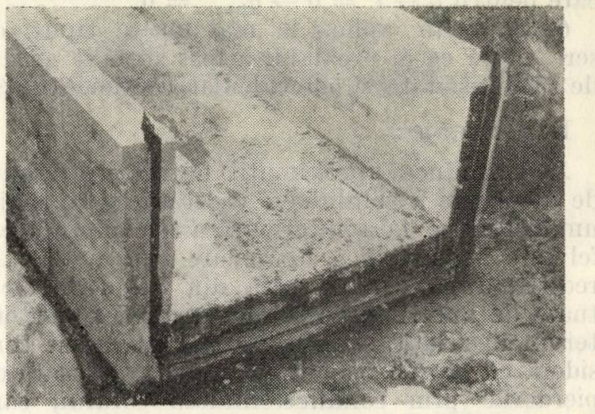


Fig. 2. Canal de termoficare din elemente de beton armat prefabricat în formă de U, după W. Gőtzen.

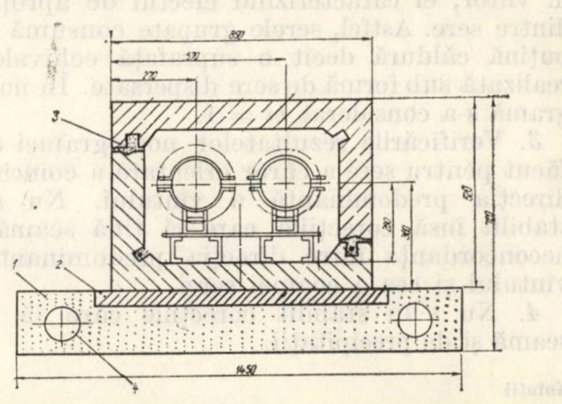


Fig. 3. Canal de termoficare din două elemente de beton armat prefabricat, de tip L, cu conductă de drenaj pe ambele părți : 1 — pietriș ; 2 — beton egalizare ; 3 — mortar ; 4 — conductă de drenaj, Dn 100 mm.

Peste radier se așază elementele de acoperire care nu ating nicăieri izolația termică și hidrofugă a conductelor și care asigură un anumit strat de aer, aproximativ egal cu cel dintre izolațiile conductelor și fața interioară a elementelor. Lungimea elementelor de acoperire este determinată în special de posibilitățile de transport și montaj.

Acest sistem de rezistență poate admite acoperiri de minimum 0,6 m și preluări de sarcină conform DIN 1072 și permite, neîncărcat, o subtraversare de 2 m lățime.

Calitatea acestui sistem de construcție constă în faptul că sistemul de rezistență nu transmite sarcini exterioare conductelor ce constituie un element hotărîtor pentru durata de viață a conductelor de termoficare.

Izolarea termică a conductelor, la amplasarea în canal, se realizează fie prin înfășurare cu saltele, fie cu semicochilii de protecție termică îmbinate prin suprapunere într-unul sau mai multe strate. Peste saltele sau semicochilii

se așază un strat de împîslitură de sticlă bituminată, care se strînge cu benzi metalice anticorosive. Sistemul de conducte nu are o influență dăunătoare asupra protecției termice în cazul în care se renunță la izolarea termică comună a conductelor de ducere și întoarcere cu temperaturi diferite. O atenție deosebită necesită deplasările în zonele de dilatare maximă care nu trebuie să atingă izolația hidrofugă și termică a conductelor în nici un regim termic. Acest lucru este de maximă importanță, întrucît în aceste zone, în care pot apărea distrugeri de izolație hidrofugă și termică, pot apărea și coroziuni datorită umidității temporare din canale.

Cu toate măsurile preconizate, în cazul canalului sistemul de rezistență, din punct de vedere constructiv, nu este etanș la apă, permite pătrunderea umidității prin fisuri și rosturi atît între radier și plăcile de acoperire, cît și prin porii betonului, prin capilaritate. Pentru etanșarea rosturilor mai mari se folosesc benzi de iută bituminată care pot diminua numai local pătrunderea umidității. Materialele de izolare termică, de obicei higroscopice, au în plus o conductibilitate capilară bună și, prin urmare, nu protejează conductele la umiditate. Împîslitura de sticlă bituminată ce înfășoară izolația termică protejează în special împotriva particulelor mai mari de apă.

Protecția propriu-zisă contra umidității din canal se obține prin spațiul circular de aer în care practic aceasta nu poate fi transportată către conducte, fără influența unei forțe exterioare, în formă lichidă sau vapori, împotriva gradientului de temperatură existent în canal, dar este posibilă în sensul acestuia.

Deplasarea apei prin fenomenul de capilaritate este imposibilă în spațiile de aer dintre izolația hidrofugă a conductelor și partea de construcție a canalului. De aici rezultă, în cazul a două conducte izolate hidrofug și termic separat, o protecție împotriva umidității chiar și în ipoteza scoaterii din funcțiune a uneia dintre acestea.

Ca urmare a celor expuse rezultă următoarele :

— Spațiul dintre conductele izolate hidrofug și termic și partea de construcție prezintă o foarte mare rezistență la fenomenul de capilaritate. Numai apa provenită prin particule mai mari poate să pătrundă, datorită gravitației, prin spațiul de aer și să ajungă la izolația hidrofugă a conductelor termice, însă ea se va vaporiza în sensul scăderii de temperatură existentă și se va difuza mai departe dacă nu va fi evacuată prin panta de scurgere a radierului la următorul cămin, din care se va drena la canalizare sau în alt mod.

— Umiditatea nu poate fi transportată prin aer împotriva gradientului de temperatură existent în canal, ci numai în sensul acestuia.

Dacă una dintre cele două constatări de mai sus nu are loc, de exemplu prima, datorită deteriorării elementelor de construcție cît și a izolației hidrofuge și termice a conductelor, se creează o cale de pătrundere a umidității și de apariție a conductibilității capilare; și în această situație, gradientul de temperatură mai evacuează o parte din umiditatea apărută prin difuzarea în sensul scăderii temperaturii. Aceasta are loc numai la gradiente de temperatură suficient de mari. Dacă o conductă trebuie scoasă din funcțiune pe o durată mai lungă, atunci marea rezistență de conductibilitate capilară a aerului tot mai împiedică pătrunderea umidității. Umiditatea poate fi transportată spre țevi, de exemplu sub formă de vapori, dacă în apropiere se găsesc mari cantități de apă de infiltrație. Deci, atît timp cît există un spațiu de aer nu sînt influențate nici rezistența conductibilității capilare, nici efectul scăderii temperaturii, adică difuziunea vaporilor. Dar nici protecția împotriva umidității nu influențează celelalte sisteme. Din considerente tehnice de siguranță reiese că ar fi indicat să nu se renunțe la nici unul din cele două sisteme de protecție, pentru a se putea realiza o viață lungă a conductelor de termoficare. Pentru pozarea în canal s-a demonstrat că este posibilă o durată de funcționare de minimum 40 de ani a conductelor, chiar dacă majoritatea acestora erau conducte de abur (care în trecut se construiau mai frecvent decît cele de apă fierbinte și prezentau gradiente de temperatură mai mari). Astfel, nu există nici un motiv să se atribuie conductelor de apă fierbinte amplasate în canal o viață mai scurtă, deoarece au gradiente de temperatură în funcționare mai scăzute. Conductele de acest fel au atins o durată de viață de 40 de ani, chiar la o funcționare intermitentă.

**2. Amplasarea în conducte de protecție din oțel a rețelelor de termoficare**

Sistemul de amplasare [1], [2] în conducte de protecție poate fi considerat ca un canal cu anumite calități de protecție. La acest sistem, conducta de protecție reprezintă partea de construcție de la canal și, în plus, conductele de protecție sînt prevăzute în exterior cu un strat izolator galvanic, care poate fi verificat în mod sigur. În spațiul inelar dintre conducta de protecție din oțel și conducta de transport al agentului termic se realizează un vid, iar la conducta de protecție din oțel, care este izolată galvanic și față de conducta de transport al căldurii, se aplică o tensiune de protecție galvanică (fig. 4). Conductele de protecție din oțel preiau sarcinile de rezistență ale părții de construcție, trebuind să se țină seamă că amplasarea acestora este mult mai dificilă decît în cazul canalului.

Amplasarea rețelelor de termoficare în terenuri cu nivele ridicate de apă freatică se poate face în limite economice acceptabile și în condiții de siguranță bune numai în sistemul cu conducte de protecție, cu condiția stabilității ca protecție activă anticorosivă. Prin vid se reduce foarte mult pierderea de căldură a conductelor prin care se transportă agentul și prin aceasta se reduce temperatura stratului de mase plastice, în afară de cîteva locuri în care

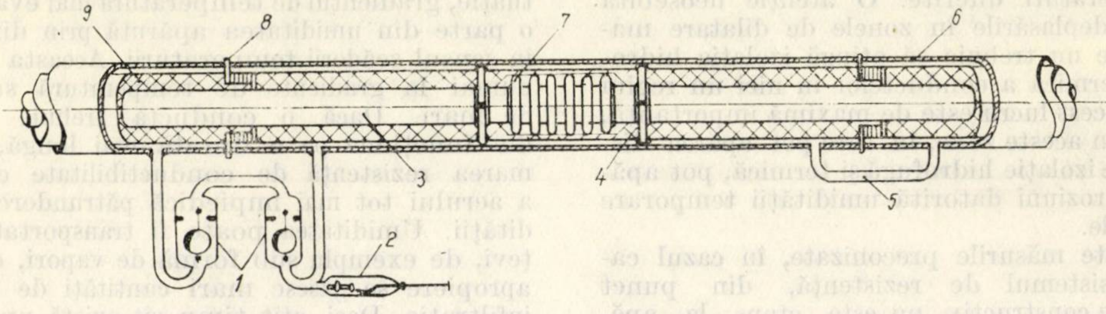



Fig. 4. Conductă de termoficare amplasată în conductă de protecție din oțel, după procedeul Dinslakener : 1 — blocaj apă ; 2 — indicator de lichid sau vapori ; 3 — agentul de transport ; 4 — ghidaj ; 5 — ocolirea punctului fix ; 6 — conductă de protecție din oțel cu înveliș din material plastic ; 7 — compensator axial ; 8 — punct fix ; 9 — izolație termică.

terenului de fundație. În acest sistem amplasarea armăturilor se face în cămine (rezervoare de oțel) prevăzute, de asemenea, cu straturi izolatoare. Utilizarea compensatoarelor axiale pentru preluarea dilatărilor este necesară într-o proporție mare la procedeul cu țevi de protecție. Conducta de protecție nu are influențe asupra bunei funcționări a izolației termice a conductelor și nici asupra părții mecanice.

Protecția împotriva umidității care se realizează, la amplasarea în canal, prin gradientul de temperatură și marea rezistență a conductibilității capilare a stratului de aer, se realizează la acest sistem prin conducta de protecție din oțel, care de fapt împiedică pătrunderea umidității.

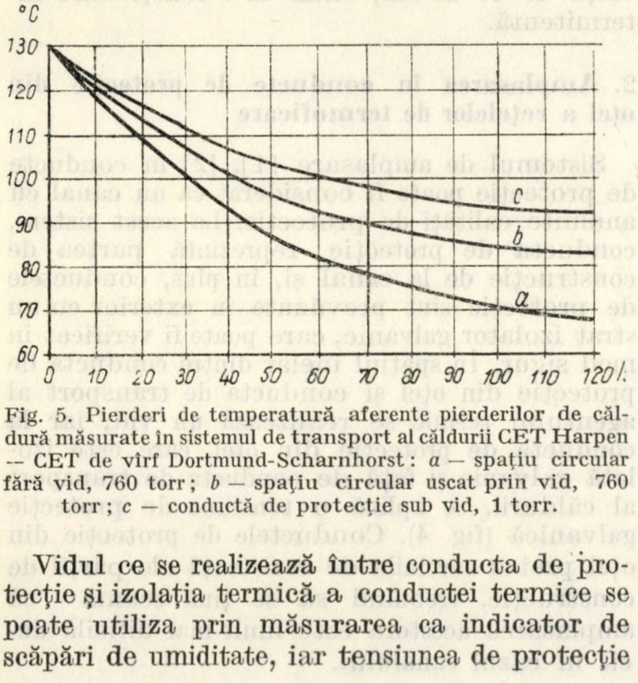



Fig. 5. Pierderi de temperatură aferente pierderilor de căldură măsurate în sistemul de transport al căldurii CET Harpen — CET de vîrf Dortmund-Scharnhorst : a — spațiu circular fără vid, 760 torr ; b — spațiu circular uscat prin vid, 760 torr ; c — conductă de protecție sub vid, 1 torr.

Vidul ce se realizează între conducta de protecție și izolația termică a conductei termice se poate utiliza prin măsurarea ca indicator de scăpări de umiditate, iar tensiunea de protecție

suporturile mobile și fixe ating țeava de oțel. Deoarece această legare a suporturilor mobile și fixe utilizează elemente de izolare termică izolate galvanic, depășirea temperaturii are un carac-

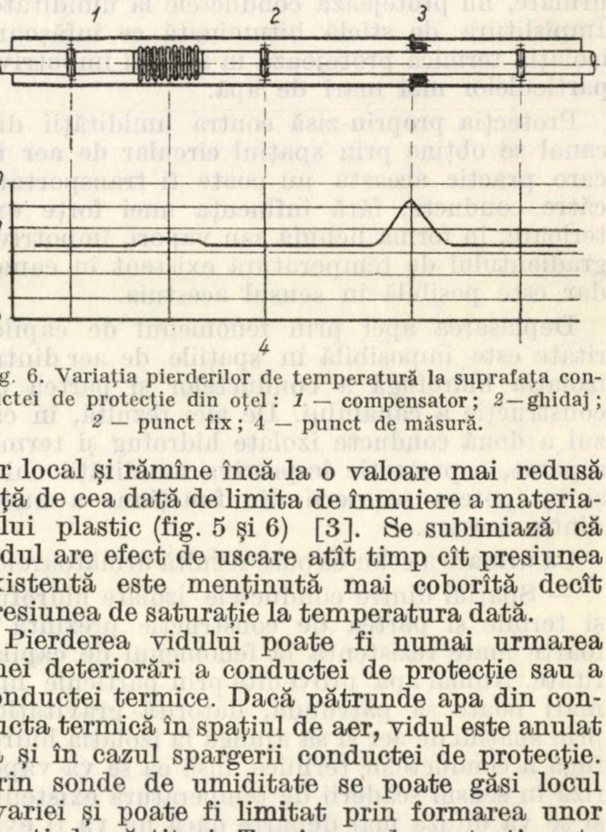



Fig. 6. Variația pierderilor de temperatură la suprafața conductei de protecție din oțel : 1 — compensator ; 2 — ghidaj ; 2 — punct fix ; 4 — punct de măsură.

ter local și rămîne încă la o valoare mai redusă față de cea dată de limita de înmuiere a materialului plastic (fig. 5 și 6) [3]. Se subliniază că vidul are efect de uscare atît timp cît presiunea existentă este menținută mai coborîtă decît presiunea de saturație la temperatura dată.

Pierderea vidului poate fi numai urmarea unei deteriorări a conductei de protecție sau a conductei termice. Dacă pătrunde apa din conducta termică în spațiul de aer, vidul este anulat ca și în cazul spargerii conductei de protecție. Prin sonde de umiditate se poate găsi locul avariei și poate fi limitat prin formarea unor pereți despărțitori. Tensiunea de protecție este anulată atunci cînd este avariat stratul de material plastic, de exemplu cu ocazia lucrărilor pe conducte. Protecția anticorosivă activă poate deveni eficace atunci cînd rămîne un suficient potențial rezidual. De asemenea, și această defecțiune poate fi localizată imediat.

Față de sistemul de amplasare în canal, ale cărui calități de protecție sînt asigurate în special de partea de construcție, la sistemul de amplasare cu conductă de protecție din oțel, aceste calități sînt realizate prin instalații special prevăzute, care trebuie întreținute.

Acest sistem este mai pretențios în ceea ce privește abaterile de montaj și mai sensibil în exploatare decît sistemul cu canal. Diferențieri economice între cele două sisteme ar putea apărea numai dacă sistemul în canal ar prezenta cheltuieli totale mai mari decît ale sistemului cu conductă de protecție.

## 3. Amplasarea în cablu de protecție a rețelelor de termoficare

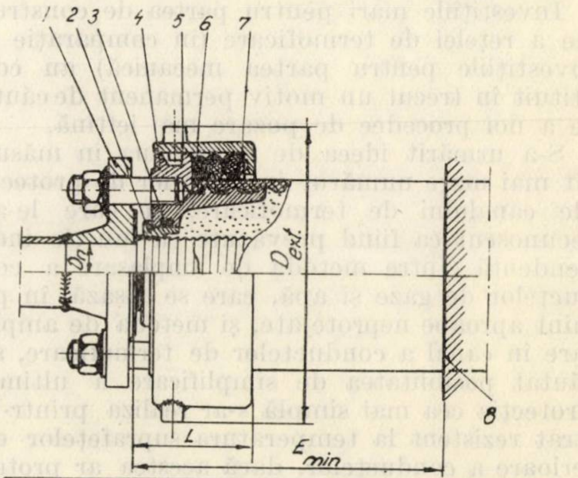
Acest sistem constituie o variantă a procedeului cu înveliș de protecție metalic și este denumit cablu tip Flexwell, pentru care Goepfert a făcut primele propuneri [4] (fig. 7); este primul procedeu de amplasare care prezintă un caracter asemănător unui cablu, ceea ce reprezintă o ieftinire în privința cheltuielilor de amplasare. Deoarece cablul este fabricat în atelier, sînt eliminate lucrări dificile de confecționare pe șantier. La acest procedeu s-a renunțat pînă în prezent la spațiul de aer, la vid și la tensiunea de protecție, astfel încît protecția împotriva umidității trebuie să fie realizată de mantaua exterioară, în mai multe strate din material plastic. La acest sistem se obișnuiește aplicarea unei tensiuni de control prin conductoare (Adern) care lucrează ca indicator de umiditate. Elementele de cuplare și de derivație ale acestui procedeu (fig. 8) prezintă pentru protecția împotriva umidității probleme constructive speciale, fapt datorită căruia nu este posibilă renunțarea la cămine. De aceea, este mult mai avantajos ca aceste elemente să fie amplasate în cadrul construcțiilor.

Sînt necesare măsuri de evitare a presării muchiilor în punctele de introducere în cămine sau construcții. Sistemul de protecție este format din țeava interioară ondulată din cupru sau, recent, din oțel inoxidabil. Execuția din oțel inoxidabil este preferată celei din cupru, pentru a evita de la bun început fixarea ionilor de cupru rătăcitori în restul rețelei din țevi de oțel uzuale, cu toate că astăzi încă nu se poate spune dacă acest efect are vreo importanță. Izolarea termică din poliuretan spongios poate fi considerată ca avînd cel puțin aceeași valoare ca a țevilor cu manta din oțel. Conducta de protecție exterioară din oțel care urmează să preia sarcinile de rezistență este însă imediat expusă coroziunii atunci cînd este străpunsă mantaua din material plastic și este posibilă pătrunderea apei după ce stratul din material plastic, aflat dedesubt, și-a pierdut eficacitatea.

## 4. Amplasarea rețelelor de termoficare în două elemente de beton armat prefabricat tip L așezate în unghi

Pe baza experienței acumulate în sistemul constructiv cu canale, la Hanovra s-a dezvoltat un procedeu de amplasare care are proprietățile tehnice de protecție a canalului, fără a prezenta cheltuieli specifice mari ale amplasării în canale, mai ales cînd diametrele sînt mici. La baza procedeului a stat ideea de a realiza avantajul economic al prefabricării elementelor din beton cu utilizare cît mai multilaterală, pentru a reduce investițiile aferente părții de construcție a rețelelor de termoficare cu diametru mai mic, menținînd proprietățile de protecție a sistemului cu canal. Este vorba de elemente prefabricate din beton în formă de L, care se îmbină în perechi, de maniera execuției zidăriei (fig. 9).

Pentru ca în direcția axială să se formeze o construcție asemănătoare cu radierul canalului, elementele de tip L așezate în unghi




| Tipul | Distanța minimă de montaj $E_{min}$ [mm] | Lungimea de constr. L [mm] | Diametru exterior $D_{ext.}$ [mm] | Diametru nominal de racord $D_n$ [mm] |
|---|---|---|---|---|
| FHK 30/91 | 150 | 60 | 160 | 25 |
| FHK 39/116 | 200 | 80 | 180 | 32 |
| FHK 60/148 | 210 | 85 | 220 | 50 |
| FHK 75/171 | 210 | 85 | 250 | 65 |
| FHK 98/171 | 210 | 85 | 250 | 80 |

Fig. 7. Cablul de protecție flexibil tip Flexwell—legătura cu flanșe:

*1* – flanșă sudură preliminară DIN 2633 (nu intră în volumul livrării); *2* – bucșă; *3* – inel–O; *4* – inel frontal; *5* – capac protecție; *6* – inel–O; *7* – inel glisant; *8* – perete.

Legătura cu flanșe reprezintă legătura la instalația țevilor din oțel în clădiri și cămine. Inelul frontal *4* și bucșa *2* transmit forțele restante, care apar prin dilatația termică, ale țevii interioare asupra țevii exterioare ondulate. Apa care pătrunde de afară este oprită prin elementele de etanșare *3* și *6*. Condiții de exploatare: presiunea nominală: 16 kgf/cm²; temperatură fluid: 130 °C. Dacă, din motive de construcție, se depășește distanța de montare $E_{min}$, cablul Flexwell se consolidează separat (în mod util, prin brățări de cablu).

sînt legate între ele prin oțel-beton fixat cu mortar în caneluri (fig. 10). Montarea industrială a acestor elemente este asemănătoare pieselor prefabricate de la canal (fig. 11).

### 5. Amplasarea direct în pămînt a rețelelor de termoficare

Investițiile mari pentru partea de construcție a rețelei de termoficare (în comparație cu investițiile pentru partea mecanică) au constituit în trecut un motiv permanent de căutare a noi procedee de pozare mai ieftină.

S-a urmărit ideea de a diminua în măsură cît mai mare numărul instalațiilor de protecție ale canalului de termoficare, pe care le-am recunoscut ca fiind prevăzute cu funcție independentă. Între metoda de amplasare a conductelor de gaze și apă, care se așază în pămînt aproape neprotejate, și metoda de amplasare în canal a conductelor de termoficare, s-a căutat posibiitatea de simplificare a ultimei. Protecția cea mai simplă s-ar realiza printr-un strat rezistent la temperatura suprafețelor exterioare a conductelor, dacă acestea ar proteja împotriva apei de infiltrație și a capilarității.

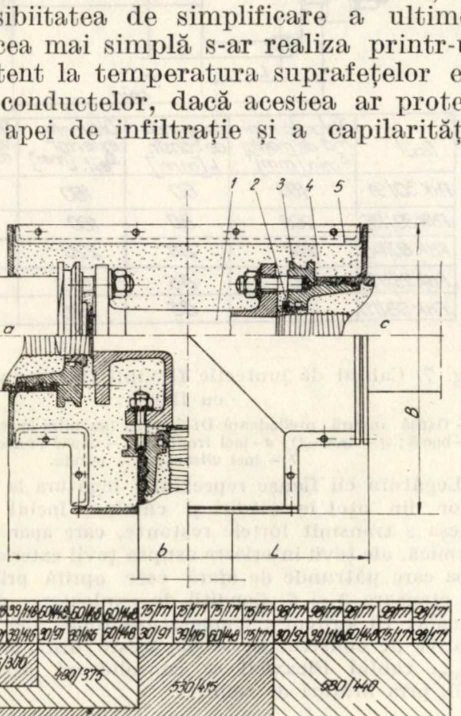



Fig. 8 Cablul de protecție flexibil tip Flexwell—legătura T: *1*—piesă în formă de T; *2*—bucșă; *3*—inel frontal; *4*—izolație poliuretan (spumă tare izolantă); *5*—capac de protecție împărțit.

Tabelul arată dimensiunile de construcție L și B, în mm, pentru toate variantele legăturii T. La aceasta, prin *a*, *b* și *c* este indicat tipul corespunzător al cablului de protecție Flexwell. Legătura T face derivația de la conducta principală la amplasarea direct în pămînt. Legătura cablului de termoficare Flexwell se face prin piesa T, care urmează să fie montată prin legături cu flanșe. Inelul frontal *3* și bucșa *2* transmit forțe restante care apar prin dilatare termică și forțele prin presiune interioară asupra țevii exterioare ondulate. Capacul protector, împărțit în cinci, se spală după montajul piesei T poliuretan 4, etanș la apă și izolat termic. Condiții de exploatare: presiunea nominală: 16 kgf/cm³; temperatură fluid: 130 °C.

În acest sistem conducta primește sarcinile exterioare statice și dinamice. Protecția împotriva umidității se realizează prin straturile exterioare și va prezenta puncte dificile la fiecare ramificație și la fiecare armătură. Din păcate, pînă în prezent nu s-au realizat astfel de materiale de protecție.

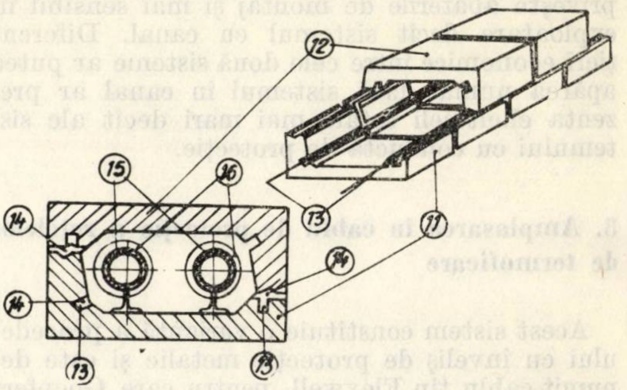



Fig. 9. Elemente prefabricate din beton în formă de L, așezate în unghi, utilizate în zone rectilinii pentru conductele de termoficare:

*11*—partea inferioară a canalului; *12*—partea superioară a canalului; *13*—fier pentru armare; *14*—acoperire cu mortar; *15*—conducte de termoficare; *16*—izolație termică învelită cu împîslitură de sticlă bituminată.

Următoarea îmbunătățire constructivă constă în aplicarea, pe conductele mai mult sau mai puțin pregătite, a unor substanțe care împiedică pătrunderea apei sau a umidității. Astfel de sisteme de protecție se cunosc sub denumirea de protecție hidrofobă din beton termoizolant protejat hidrofug sau material bituminos pulverulent, realizat fie sub formă prefabricată, în tronsoane, fie monolit, pe șantier. Și la aceste sisteme conductele preiau sarcinile de rezistență. Materialul care se toarnă peste țevi trebuie să realizeze izolarea termică și protecția hidrofugă.

O prezentare interesantă a numeroaselor sisteme constructive de amplasare directă în pămînt a conductelor de termoficare a fost făcută de H. Brűn [5, 6].

### 6. Elemente fizice ale fenomenului de capilaritate la materiale termo și hidroizolante

Aproape toate materialele utilizate pînă acum pentru izolarea conductelor de termoficare la amplasarea directă în pămînt au fost de tip poros, fiind formate dintr-o substanță granulată, fie solidă, asemănătoare betonului sau unui material pulverulent. Materiale de izolare termică fibroase, ca vata de sticlă sau minerală, prezintă între fibre spații mari, încît permit mișcări convective ale aerului închis între acestea.

Pe lîngă porozitate, trebuie să se țină seamă că materialele de acest fel — ca aproape toate materialele de construcție — pot prezenta, din cauza preluării reduse a tensiunilor de întindere, fisuri mai mari sau mai mici, condițio-

nate de forţele de contracţie sau de sarcini mecanice exterioare. Astfel de proprietăţi le pot avea chiar şi materialele bituminoase. Dacă există astfel de structuri, atunci materialele au o capacitate pronunţată de conductibilitate capilară.

În materialele poroase apar forţe capilare, de suprafaţă între materialul solid şi apă, care fac ca aceste materiale să absoarbă apa.

Să urmărim un singur capilar. În acesta, coloana de lichid urcă, în sens contrar forţei de gravitaţie, peste nivelul apei în care este introdus tubul capilar. După un anumit timp se instalează meniscul. Forţa capilară acţionează la perimetrul tubului şi provoacă formarea meniscului cu aspect de lanţ, fiind în echilibru cu forţa de atracţie. Aici nu se aplică principiul vaselor comunicante.

Dacă apa se evaporă la suprafaţa meniscului, aceasta este înlocuită pînă cînd se realizează din nou starea de echilibru. La această mişcare, forţa de atracţie, forţa capilară şi cea de frecare a apei transportate spre menisc se găsesc în echilibru. Faţă de meniscul la care nu mai este transportată, apa se instalează acum la o înălţime mai mică datorită forţei de frecare. Dacă capilarul se găseşte acum în poziţie orizontală, componenta gravitaţiei pămîntului nu acţionează. Forţa capilară ridică apa în tub în sens opus forţelor de frecare. Mişcarea nu se opreşte decît atunci cînd dispar forţele capilare, adică dacă tubul se lărgeşte foarte mult.

Razele diferite ale unui capilar provoacă o mişcare capilară a apei, şi anume spre raza mai redusă. Prin acest fenomen se explică porţiunile de apă izolate din capilare, care se îngustează, şi apa interstiţială din substanţele turnate. Tirajul capilar mai mare, existent la raze mai reduse, este în echilibru cu tirajul mai redus existent la raze mai mari.

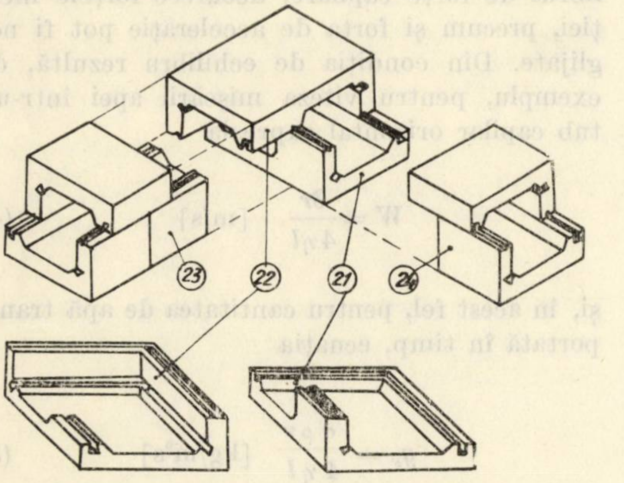



Fig. 10. Elemente prefabricate din beton în formă de L, aşezate în unghi, utilizate la coturi pentru conductele de termoficare:

21—elementul inferior al canalului; 22—elementul superior al canalului; 23—canalul de protecţie în zona rectilinie de racordare la coturi intrare; 24— canal de protecţie în zona rectilinie de racordare la coturi ieşire.

Un material mai poros este considerat un fascicul de tuburi capilare cu diametre diferite. În acest model se poate lua în considerare numai mişcarea apei capilare în axa longitudinală a fasciculului. Fiecărui tub capilar al fasciculului i se atribuie diametre diferenţiale cu o frecvenţă egală cu cea cu care apar diferitele mărimi ale porilor din masa poroasă. În mod corespunzător se vor instala în fiecare tub capilar diferite înălţimi ale coloanei de apă capilare. Deoarece înălţimea, la temperatură constantă, depinde numai de rază, la o succesiune ordonată a diametrelor, corespunzător frecvenţei existente, meniscurile vor creşte după o anumită curbă. Poziţia unui menisc este dată de o forţă ascensională capilară aferentă, atunci cînd nu sînt posibile fluxuri transversale faţă de fasciculul capilar, aşa cum s-a presupus la modelul prezentat (fiecare tub capilar este considerat ca fiind în legătură cu celălalt, fără nici o rezistenţă pe întreaga secţiune a fasciculului luat în considerare). Corespunzător succesiunii date a diametrelor, se instalează deasupra nivelului fasciculului gradientul forţelor ascensionale capilare.

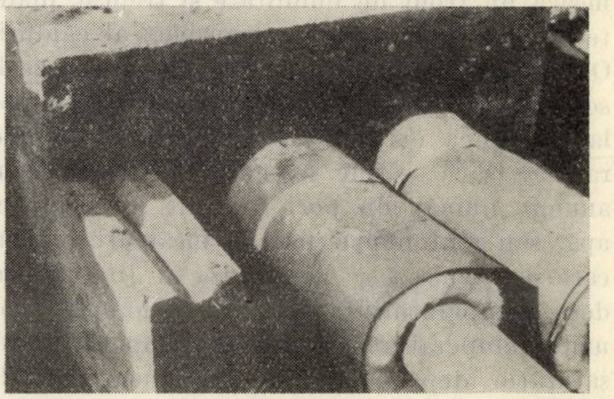


Fig.11. Vedere a unei reţele de termoficare realizată în sistemul constructiv cu două elemente de beton armat prefabricat în formă de L, aşezate în unghi.

Vom lua acum în considerare o conductă de termoficare amplasată într-o masă poroasă (fig. 12). Conductele sînt amplasate alăturat; o izolaţie preliminară lipseşte. Materialul izolant este aşezat pe ţevi şi pe pămînt, fără să fie prevăzut cu un strat separator suplimentar. Se presupune amplasarea conductelor în pămînt la adîncimea uzuală. După punerea în funcţiune cîmpul de temperatură al conductei se extinde în pămînt şi la temperatura constantă a mediului atinge treptat starea staţionară. Dacă în solul încălzit pătrunde apă de suprafaţă, rezistenţa de frecare scade datorită viscozităţii, care este redusă o dată cu creşterea temperaturii. De asemenea, şi forţa capilară scade mai puţin o dată cu creşterea temperaturii. Apa care se infiltrează în urma gra-

vitației pămîntului și care este absorbită de pămînt datorită tirajului capilar este dirijată în direcția celor mai reduse forțe de frecare, adică spre sursa termică, și în final va pătrunde în porii materialului izolant. Se formează un front de umiditate și treptat înaintează spre conductele de transport al căldurii. O dată cu apropierea de conducte umezeala se va încălzi în continuare, formîndu-se vapori la presiunea existentă dependentă de temperatură. Dacă se ține seamă și de faptul că un anumit număr de pori nu sînt încărcați cu apă, sau sînt numai parțial încărcați, vaporii care se formează se vor difuza în direcția scăderii temperaturii și se vor condensa acolo unde temperatura va fi sub temperatura de saturație dependentă de presiunea parțială. În fine, frontul ajunge într-un punct la care pătrunde atîta umiditate cît se vaporizează acolo. În acest punct frontul de umiditate nu depășește spațiul aflat între acesta și conducte și se încarcă cu vaporii la presiunea care există la acest front. Traseul este reprezentat în figura 12. Dacă temperaturile cîmpului termic sînt suficient de ridicate, frontul poate fi oprit. Dacă temperatura crește, frontul se va retrage; dacă temperatura scade, frontul va înainta în direcția conductelor și va putea ajunge la acestea. Atunci vaporizarea va avea loc la suprafața conductelor de transport al căldurii, depunînd substanțele dizolvate în apă (sare, oxigen, acid carbonic etc.). Astfel începe procesul de coroziune în întreaga sa amploare. În cele ce urmează se deduc, pornind de la echilibrul forțelor într-un fascicul de capilare ideal, de tipul prezentat mai înainte, ecuațiile pentru mișcarea apei și a vaporilor, pentru a determina poziția frontului de umiditate, cu scopul de a găsi prin acestea domeniul de aplicare a materialelor poroase de acest fel.

## 7. Elemente și formule de calcul ale fenomenului de capilaritate

Se va lua în considerare un tub capilar cu o rază $r$, care este cufundat într-un nivel de apă umplut cu apă pe lungimea aflată deasupra nivelului, înclinat cu unghiul $\alpha$ față de orizontală.

Prin meniscul care se găsește în punctul $Z = 1$, cu $Z$ luat drept coordonată în mijlocul axei tubului capilar, se produce forța ascensională, a cărei expresie este

$$Z = \frac{2\,\delta}{r}\pi r^2 \quad [\text{kp}] \tag{1}$$

în care $\delta$ [kp/m] este constanta capilară care indică forța specifică la suprafața apei. Orientarea proprie a coloanei de apă acționează cu componenta sa în direcția axială

$$G_\alpha = -\ \rho g \cos\alpha\ l\,\pi r^2 \quad [\text{kp}] \tag{2}$$

în care $\rho g = \gamma$ [kp/m³] reprezintă greutatea specifică a apei ce acționează contra forței ascensionale capilare.

Dacă coloana de apă capilară este în mișcare, pînă la atingerea poziției staționare a meniscului, independent de poziția tubului capilar, forța de frecare rezultantă la transportul apei are, potrivit legii Hagen-Poiseville, expresia

$$R = \frac{8\eta l}{r^2} W \pi r^2 \quad [\text{kp}] \tag{3}$$

în care

$\eta$ este viscozitatea apei [kps/m²];

$W$ — viteza apei [m/s].

Din cele trei forțe menționate rezultă echilibrul de forțe capilare, deoarece forțele inerției, precum și forța de accelerație pot fi neglijate. Din condiția de echilibru rezultă, de exemplu, pentru viteza mișcării apei într-un tub capilar orizontal expresia

$$W = \frac{\delta r}{4\eta l} \quad [\text{m/s}] \tag{4}$$

și, în acest fel, pentru cantitatea de apă transportată în timp, ecuația

$$g_F = \frac{\sigma\,\rho\,r}{4\,\eta\,l} \quad [\text{kg/m}^2\text{s}] \tag{5}$$

Vom urmări acum conductibilitatea capilară într-un material poros, pe baza modelului format dintr-un fascicul de capilare compus din tuburi

cu diametru diferit şi al cărui ax longitudinal se găseşte în direcţia mişcării apei. Acest model a fost realizat de O. Krischer [7]. Între fiecare tub capilar se presupune o legătură fără rezistenţă. Diversele diametre apar în fascicul cu o frecvenţă care corespunde frecvenţei lungimii comparabile a porilor masei poroase. În lungul fasciculului rezultă deci o distribuţie capilară a presiunii care corespunde succesiunii date a diametrelor capilarelor. Forţa de aspiraţie a meniscului, care se găseşte într-o secţiune a fasciculului, este hotărîtoare pentru presiunea pe întreaga secţiune.

De aici rezultă, prin forţele menţionate, condiţia de echilibru pentru fasciculul de capilare :

$$-\frac{2\sigma}{r^2}\cdot\frac{dr}{dz}-\frac{8\eta W}{r^2}-\rho g\frac{dh}{dz}=0 \qquad (6)$$

în care $dh/dz = \cos\alpha$.

Din (6) rezultă viteza apei în fasciculul capilar luat în considerare, care este

$$W=\frac{r^2}{8\eta}\cdot\frac{d\left(-\gamma h+\frac{2\sigma}{r}\right)}{dz} \quad [\text{m/s}] \qquad (7)$$

şi cantitatea de apă transportată

$$g_F=\frac{r^2\rho}{8\eta}\cdot\frac{d\left(-\gamma h+\frac{2\sigma}{r}\right)}{dz} \quad [\text{kg/m}^2\text{s}] \quad (8)$$

Expresia din ecuaţia (7), respectiv (8)

$$P_{vap.}=-\gamma h+\frac{2\sigma}{r} \quad [\text{kp/m}^2] \qquad (9)$$

dă suma forţelor de presiune care acţionează la menisc. Acestea sînt hotărîtoare pentru formarea vaporilor la frontul apei capilare.

Presiunea de saturaţie $P'_D\ (T)$ în capilare rezultă, conform legii lui Thomson, din presiunea de saturaţie pe suprafaţa liberă

$$\frac{P'_D}{P_D}=exp\left(-\frac{P_{vap.}}{\gamma RT}\right) \qquad (10)$$

în care se poate înlocui adesea $P_{vap.}\approx\frac{2\sigma}{\gamma}$ cu $R$ [kp.m/kp.grd] al constantei de gaze a vaporilor de apă şi $T$ (°K) a temperaturii existente.

Dependent de forma cîmpului temperaturii, umiditatea care se infiltrează începe să se evapore mai mult sau mai puţin.

Deoarece, pe baza diametrelor diferite presupuse în fasciculul considerat, sînt încărcate cu apă numai o parte din tuburile capilare, se poate pleca de la faptul că există spaţiile, cu un volum de vapori scăzut, necesare pentru preluarea vaporilor formaţi. De fapt, formarea vaporilor ar avea loc acolo unde există temperaturile cele mai ridicate, şi anume la menişcuri, dar şi la suprafeţele capilarelor, în măsura în care acestea se învecinează cu spaţii lipsite de apă (se presupune o legătură fără rezistenţă, ce permite trecerea aburului dintr-un tubuleţ plin într-unul învecinat gol). La diametre cu foarte mici deosebiri, adică la umplerea aproape unitară a tuburilor, vaporizarea are loc aproape exclusiv la menişcuri. Spaţiul pentru tansportarea mai departe a cantităţilor de vapori se va considera şi în acest caz existent. Vaporii formaţi difuzează în sensul scăderii temperaturii, respectiv al scăderii presiunii vaporilor, deci în direcţie contrară mişcării apei capilare şi condensează în locurile în care apa se găseşte sub temperatura de saturaţie; acolo spaţiile lipsite de apă se încarcă cu condensat.

Dacă cantităţile de apă din capilare sînt mai mici decît cele care se evaporă, fasciculul se goleşte treptat de apă şi vaporii se usucă, iar umiditatea este transportată înapoi în zonele de condensaţie. În cazul invers, apa capilară adusă pătrunde mai departe în direcţia conductelor pentru transportul căldurii. Cu cît meniscurile se apropie mai mult de acestea, cu atît mai intensă este vaporizarea, dar şi difuziunea creşte. Într-un anumit punct se formează şi sînt transportaţi la fel de mulţi vapori; cu alte cuvinte, conductibilitatea capilară şi difuziunea aburului îşi menţin echilibrul, iar frontul de umiditate se opreşte.

Dacă pătrunderea apei este mai redusă, frontul de umiditate se retrage, iar dacă pătrunde apă mai multă, avansează în direcţia conductelor şi pînă la urmă ajunge la acestea. Vaporizarea are loc la conducte şi oxigenul este acela care declanşează procesul de coroziune.

În cazul echilibrului, deci la formarea unui front de umiditate fix, cantitatea de umiditate care pătrunde printr-un singur capilar orizontal

$$g_F = \frac{\delta \rho r}{4\eta l} \quad [\text{kg/m}^2\text{s}] \qquad (5)$$

este egală cu cantitatea de vapori evacuată prin difuziune, dată de expresia

$$g_D = \frac{\delta}{\mu l}(P'_D - P_E) \quad [\text{kg/m}^2\text{.s}] \qquad (11)$$

în care

$\delta$ este indicele de difuziune a vaporilor de apă în aer, kgm/kps;

$\mu$ — factorul de rezistență de difuziune, determinat ținînd seamă de conținutul de umiditate al fasciculului;

$P_E$ — contrapresiunea mișcării vaporilor, kp/m².

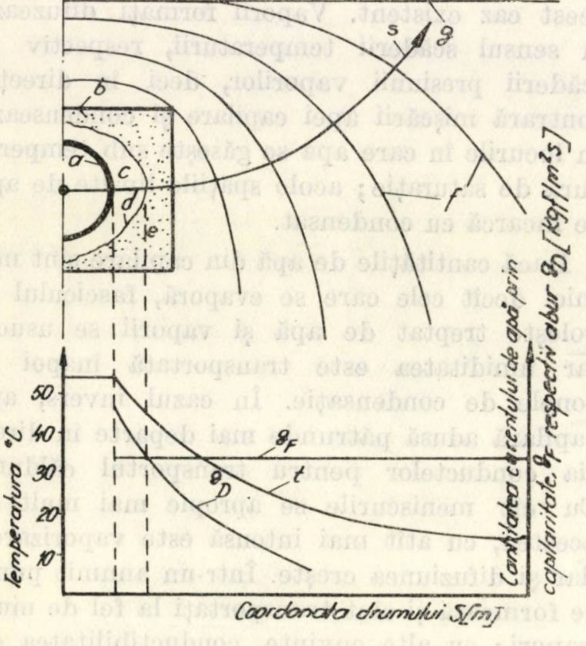



Fig. — 12. Domeniul de abur și umiditate la o conductă de termoficare amplasată în material poros de izolare: *a* — conductă; *b* — material de izolație; *c* — domeniul de abur; *d* — limita de umiditate; *e* — domeniul apei capilare; *f* — izoterme ale cîmpului de temperatură; *g* — suprafața pămîntului.

Din egalare rezultă raza-limită a capilarului la care apa transportată se vaporizează integral și formula devine

$$r_G = \frac{4\eta\delta}{\sigma\rho\mu}(P'_D - P_E) \quad [\text{m}] \qquad (12)$$

Dacă introducem în (11) $P_E \approx 0$, ceea ce la o primă aproximație poate fi considerat ca admisibil din cauza marilor diferențe de presiune de vapori în cîmpul de temperatură al unei conducte care transportă căldură, atunci se obține cu (10) o ecuație transcendentă pentru $r_G$. La o aproximație pătratică a curbei de saturație și în cazul $P'_D = P_D$, ecuația devine

$$r_G = \frac{4\eta\delta}{\sigma\rho\mu}(A + BT + CT^2) \quad [\text{m}] \qquad (13)$$

aceasta putînd fi rezolvată atunci cînd este cunoscut cîmpul de temperatură. De aici rezultă o delimitare clară a razei-limită a temperaturii care, la distribuția cunoscută a diametrului, permite determinarea curbei-limită și este hotărîtoare în utilizarea materialului izolant luat în considerare.

Dacă avem de-a face cu materiale poroase cu diametre capilare foarte diferite, atunci unora dintre acestea le pot fi aferente temperaturi care sînt mai mari decît temperatura exterioară a conductelor. În acest caz nu poate fi evitată pătrunderea apei capilare pînă la conducte. În general, se poate deduce că, cu cît materialul izolant are o porozitate mai grosieră, cu atît mai mari trebuie să fie temperaturile agentului termic, pentru a evita pătrunderea apei capilare.

După cele expuse anterior și, ținînd seamă de considerentele de siguranță pentru amplasarea conductelor, expuse la începutul lucrării, se constată mai întîi că o izolare prin înfășurare, conform figurii 11, nu realizează un strat cu mare rezistență capilară. În această situație protecția împotriva umidității se realizează prin echilibrul între conductibilitatea capilară și difuziunea aburului în starea care există în canal, în ipoteza aderenței perfecte a izolației termice la conductele termice. Această condiție de aderență trebuie să fie realizată în toate regimurile de exploatare și la toate sarcinile care pot apărea.

Dacă conductele vor funcționa în tot timpul anului, atunci este menținută condiția de protecție atît timp cît materialul izolant nu se fisurează prin sarcini mecanice sau in-

fluențe chimice și devine astfel mai poros și mai ușor accesibil apei capilare. Dacă se pot evita și aceste influențe, se mai menține totuși constatarea că amplasarea direct în pămînt prezintă un risc mai ridicat sub aspectul acțiunii negative a umidității în comparație cu cel posibil la amplasarea în canal.

## Concluzii

Cele expuse anterior au pus în evidență faptul că rețelele de termoficare, în comparație cu alte sisteme de conducte amplasate direct în pămînt, necesită sisteme de protecție mai costisitoare pentru a atinge durata de viață de minimum 40 de ani. În acest sens se aplică criteriile economice și durata de viață la sistemele de protecție a conductelor de termoficare.

La alegerea sistemului de amplasare a conductelor de termoficare trebuie să se țină seamă de toate protecțiile enunțate în acest articol, astfel încît durata de viață a conductelor să fie de cel puțin 40 de ani, iar siguranța în funcționare cît mai ridicată. Scopul acestui articol este evidențierea elementelor ce trebuie avute în vedere la alegerea unui sistem de amplasare a conductelor de termoficare, cu o subliniere deosebită a apariției umidității, a limitării ei prin proiectare, pentru reducerea urmărilor ei negative asupra duratei de viață a conductelor de termoficare.

### Bibliografie


1] T a n t z, A. și M a l i n a, G. *Sistemul de conducte de protecție din oțel sub vid de la Dinslaken.* Dinslaken, 1969.

[2] V o r m s t e i n, C. *Procedeul de izolare de la Nürnberg cu conducte de protecție din oțel pentru conducte de termoficare—încălzire și ventilație.* Haustechnik 21 (1971), p. 113—118.

[3] E l g e t i, K. *Pierderea de căldură a unei conducte amplasate în pămînt în conductă de protecție, ținînd seamă de fluxul de căldură prin punțile de distanță.* Hanovra, 1967.

[4] G o e p f e r t, J. și R e i n e r, H. *Cablul de termoficare Flexwell.* Energie *21* (1969), p. 138—144.

[5] B r ü n, H. *Izolația conductelor pozate în pămînt.* Oel und Gaz *10* (1967), nr. 10, p. 12—18 și nr. 11, p. 10—14.

[6] B r ü n, H. *Amplasarea fără canal în situația actuală.* Energie *21* (1969), p. 444—447.

[7] K r i s c h e r, O. *Bazele științifice ale tehnicii uscării.* Berlin (Göttingen), Heidelberg 1963.

[8] G ö t z e n, W. *Probleme de construcție la rețele de termoficare; practica alimentării cu căldură prin termoficare.* Publicații de conferințe ale HDT Essen, nr. 131, 1967, p. 24—32.


(Articol intrat în redacție la 21 septembrie 1971

# Particularități în variația randamentului cazanelor de apă fierbinte

Ing. Vl. Nicu*)

Este cunoscut rolul cazanelor de apă fierbinte (CAF) în centralele de termoficare. Față de cazanele de abur, CAF prezintă particularități fundamentale mai cu seamă în ceea ce privește posibilitățile de variație a debitului caloric și a randamentului.

Între parametrii de bază ai cazanului de apă fierbinte există relația

$$Q_{CAF} = W \cdot \overline{\Delta t} = \eta \cdot B \qquad (1)$$

în care

$Q_{CAF}$ — este căldura debitată;
$W$ — debitul de apă de alimentare;
$\overline{\Delta t}$ — încălzirea apei;
$\eta$ — randamentul brut;
$B$ — consumul orar de căldură.

Relația (1), pe cît de simplă, permite totuși stabilitatea variației mărimilor ce o compun și, pe baza acestora, a măsurilor de aplicat în exploatarea CAF. Această relație devine interesantă dacă este adusă sub forma diferențială, în două condiții distincte :

*1)* $B = B_0 = \text{const.}$, $W = \text{variabil}$

*2)* $W = W_0 = \text{const.}$, $B = \text{variabil}$

cu îndeplinirea, în ambele cazuri, a condiției privitoare la menținerea constantă a entalpiei apei de alimentare a cazanului.

În cazul *1* se obține ecuația diferențială

$$\frac{\partial Q_{CAF}}{\partial W} + \frac{\partial Q_{CAF}}{\partial t_e} \cdot \frac{\overline{\partial t_e}}{\partial W} = \frac{\partial \eta}{\partial W} B_0 \qquad (2)$$

iar în cazul *2*

$$\frac{\partial Q_{CAF}}{\partial t_e} \cdot \frac{\overline{\partial t_e}}{\partial B} = \frac{\partial \eta}{\partial B} B + \eta \qquad (3)$$

Semnificațiile termenilor din (2) și (3) :

$\frac{\partial Q_{CAF}}{\partial W}$ este derivata căldurii debitate în raport cu debitul apei de alimentare;

$\frac{\partial Q_{CAF}}{\partial t_e}$ — derivata căldurii debitate în raport cu entalpia apei la ieșirea din cazan;

$\frac{\overline{\partial t_e}}{\partial W}$ — derivata entalpiei apei la ieșirea din cazan în raport cu debitul apei de alimentare;

$\frac{\partial \eta}{\partial W}$ — derivata randamentului cazanelor în raport cu debitul apei de alimentare;

$\frac{\overline{\partial t_e}}{\partial B}$ — derivata enatlpiei apei la ieșirea din cazan în raport cu consumul orar de căldură;

$\frac{\partial \eta}{\partial B}$ — derivata randamentului cazanului în raport cu consumul orar de căldură.

Semnul derivatelor parțiale din (2) și (3) depinde de sensul de variație a lui $W$ și, respectiv, a lui $B$. Astfel, cînd, față de o anumită situație de referință, $W$ crește sau scade, pentru variația randamentului CAF se obține o expresie ai cărei termeni, comparativ cu (2), au semnul precizat

$$\frac{\partial \eta}{\partial W} = \frac{1}{B_0}\left(\frac{\partial Q_{CAF}}{\partial W} - \frac{\partial Q_{CAF}}{\partial t_e} \cdot \frac{\overline{\partial t_e}}{\partial W}\right)$$

ceea ce exprimă faptul că creșterea debitului apei de alimentare atrage după sine creșterea debitului caloric preluat, iar scăderea entalpiei apei la ieșirea din cazan are efectul contrar.

Cu ajutorul reprezentării grafice din figura 1 se ilustrează variația mărimilor din (2), scoțîndu-se în evidență sensul fizic al problemei.

Se constată că, la creșterea debitului apei de alimentare prin CAF cu $\Delta W$ ($B = \text{const.}$), randamentul cazanului crește cu

$$(\Delta \eta)_+ = \frac{\partial \eta}{\partial W} \Delta W$$

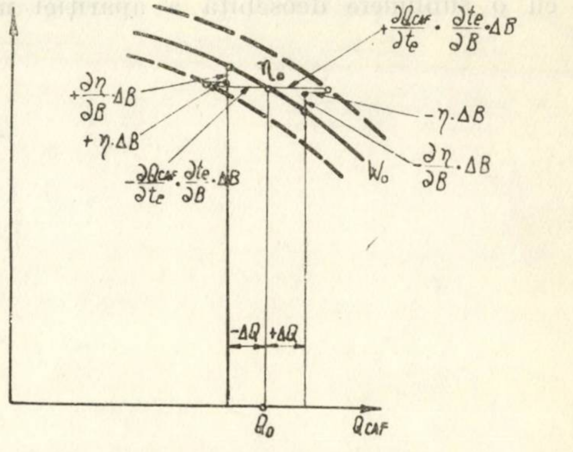



Fig. 1. Variația finită a randamentului CAF în cazul variației finite ($\pm \Delta W$) a debitului apei de alimentare la consumul de căldură constant ($B = \text{const.}$).

Fenomenul se inversează dacă prin CAF debitul apei de alimentare se reduce($-\Delta W$), rezultînd o scădere corespunzătoare a randamentului :

$$(\Delta \eta)_- = -\frac{\partial \eta}{\partial W} \Delta W$$

---

*) Ing. Vladimir Nicu este șeful serviciului de concepție de la CET Brazi—Ploiești.

Din (3) se obţine expresia definitivă pentru variaţia randamentului în raport cu consumul de căldură :

$$\frac{\partial \eta}{\partial B} = \frac{1}{B}\left(\frac{\partial Q_{CAF}}{\partial t_e} \cdot \frac{\partial t_e}{\partial B} - \eta\right)$$

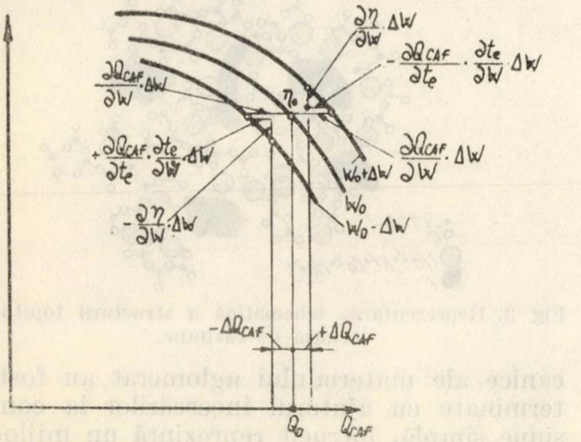



Fig. 2. Variaţia finită a randamentului CAF în cazul variaţiei finite ($\pm \Delta B$) a consumului de căldură la debitul apei de alimentare constant ($W$ = const.).

Grafic, în figura 2 se ilustrează sensul fizic al variaţiilor sus-amintite, aferente condiţiei *2* puse anterior.

Variaţiile randamentului ($W$ = const.) în cazul variaţiei consumului de combustibil cu $\pm \Delta B$, sînt

$$(\Delta\eta)_+ = -\frac{\partial \eta}{\partial B}\Delta B$$

$$(\Delta\eta)_- = +\frac{\partial \eta}{\partial B}\Delta B$$

**Concluzii**

În exploatarea CAF apar multiple posibilităţi de variaţie a randamentului $\eta = f(Q_{CAF})$, fiecare corespunzînd, la $B$ = const., unui parametru determinat — debitul $W$ la apei de alimetare.

Practica arată că supraalimentarea cu apă a CAF este uşor de realizat. Prin creşterea debitului apei de alimentare, transmiterea căldurii la fasciculele convective ale CAF se ameliorează considerabil, concomitent cu reducerea temperaturii gazelor arse la coş, crescînd astfel randamentul agregatului.

Consideraţiile de mai sus sînt valabile în cazul randamentului CAF, la care caracteristica respectivă $\eta = f(Q_{CAF})$ este continuu descrescătoare în intervalul de sarcini exploatate [1]. Măsurători repetate, efectuate de IRME, au evidenţiat, într-adevăr, alura descrescătoare a curbei randamentului cu creşterea sarcinii termice.

**Bibliografie**


[1] Stăncescu, I. D. *Bazele tehnice şi economice ale termoficării.*



(Articol intrat în redacţie la 19 mai 1971)


# Aspecte privind modificarea caracteristicilor fizico-chimice ale depunerilor provenite din arderea combustibililor în centrale, în vederea măririi siguranţei în exploatare a cazanelor


Ing. Valentina F. Bălan*)


Fenomenul de depunere apare la toate tipurile de cazane, mai ales la cele de mare putere. În lucrarea de faţă se studiază unul dintre fenomenele însoţitoare ale procesului de ardere a combustibililor solizi, şi anume formarea de aglomerări de cenuşă aderente la suprafeţele de schimb de căldură.

Pe baza caracteristicilor de aglomerare, în cursul lucrării se evaluează factorii care acţionează în cazane (temperatură, durată de rămînere a depunerilor pe suprafeţele de schimb de căldură etc.) şi se aleg condiţiile necesare pentru eliminarea depunerilor în vederea măririi siguranţei în exploatare a cazanelor.

Cauzele care provoacă formarea depunerilor, atît în zonele de temperatură înaltă, cît şi în cele de temperatură joasă, pot fi compoziţia combustibilului de ardere şi condiţiile în care are loc arderea.

Din combinaţia chimică a oxigenului cu substanţele combustibile, în focar, iau naştere produsele de ardere. O parte din cenuşa din gazele de ardere se separă împreună cu zgura în buncărele de zgură (prin pîlnia rece) ale focarului, iar restul de cenuşă şi gazele de ardere parcurg pe rînd poziţia supraîncălzitorului, a economizorului etc.

În sistemele de acest tip, în care intră $K_2O$ şi $Na_2O$, reacţia de preferinţă este formarea sulfatului de sodiu sau de potasiu ($K_2SO_4$, $Na_2SO_4$) prin reacţia dintre $SO_3$ din gazele de ardere şi oxidul de potasiu sau de sodiu, care în intervalul de temperatură 700—1100° C se depune împreună cu cenuşa pe ţevile fierbătoare ale cazanului.

În cazul în care $SO_3$ s-a consumat, oxidul de potasiu sau sodiu intră într-o combinaţie de tipul $K_2O.23CaO.12SiO_2$ printr-o reacţie de schimb, $K_2O.Al_2O_3 + 12\ (2CaO.SiO_2) = K_2O.23CaO.12SiO_2 + CaO.Al_2O_3$, formînd constituenţi cu temperaturi scăzute (sub punctul de topire al oxizilor respectivi) care duc la aglomerări.

Pentru funcţionarea instalaţiilor de cazane fără depuneri, este necesar să se cunoască, în afară de caracteristicile tehnice, caracteristicile

*) Ing. Valentina F. Bălan este cercetător ştiinţific principal la ICENERG.

de rezistenţă şi de fuziune ale cenuşilor în vederea măririi siguranţei în exploatare a cazanelor.

Influenţa variaţiei diferiţilor constituenţi chimici ai cenuşii asupra temperaturilor caracteristice permite, de asemenea, prevederea modului de comportare a instalaţiei în cazul folosirii în procesul de ardere a unor sorturi de cărbuni din mine diferite pe diferite sorturi granulometrice.

**Influenţa diverşilor componenţi chimici ai cenuşilor asupra temperaturilor caracteristice**

Compoziţia chimică a cenuşilor de cărbune este determinată în mod exclusiv de natura şi cantitatea substanţelor minerale care produc impurificări în cărbune.

Într-o cantitate predominantă iau parte la aceasta silicaţii de aluminiu cu conţinut de apă (minerale de argilă, care constau din $SiO_2$ şi $Al_2O_3$ şi care mai pot conţine şi calciu, fier, magneziu, alcalii etc.). Aceşti compuşi chimici din cenuşi formează topituri de sticlă, reprezentînd în stare solidă conexiuni de tetraedre $SiO_2$, adică de elemente spaţiale în care un ion $Si^{4+}$ este înconjurat de patru ioni $O^{2-}$.

Agentul de reţea $Si^{4+}$ poate fi înlocuit parţial în această ocazie şi de $Al^{3+}$ (dacă în topituri există în mare parte calciu şi alcalii), formînd grupa $AlO_4$, care din cauza solicitărilor spaţiale poate acţiona ca grupă $AlO_4$ reticulară.

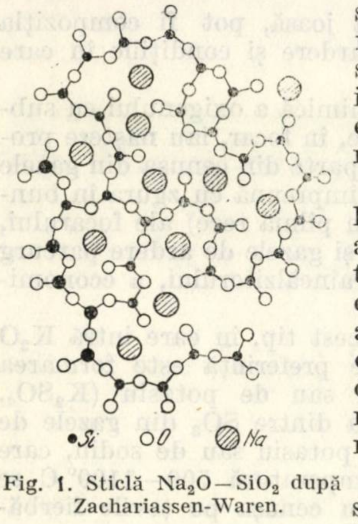



Fig. 1. Sticlă $Na_2O-SiO_2$ după Zachariassen-Waren.

O perturbare a acestei reţele prin formare de locuri de separare o provoacă ionii $Ca^{2+}$, $K^+$, $Na^+$ etc. (transductori de reţea).

Structura sticlei solide reprezintă în acest fel o reţea de tetraedre de $SiO_4$ (cu eventuala participare a aluminiului), în ale căror goluri pot sta, de exemplu, metale şi metale alcalino-pămîntoase (fig. 1).

În golurile reţelei se află K, Ca, Mg şi Na.

Reţeaua totală este tulburată de particule străine (cărbune, fier etc.) (fig. 2).

În topituri grupele de tetraedre $SiO_4$ şi grupele $AlO_4$ sînt reunite în mod diferit în dependenţă de compoziţie şi temperatură.

În conexiunea spaţială a tetraedrelor, la începutul procesului de topire a cenuşilor, o importanţă mare o au legăturile Si—O, respectiv legăturile Al—O.

Existenţa mai departe a Na, K, S etc. arată, evident, că structura topiturilor de zgură are o importanţă hotărîtoare în comportarea coroziunii faţă de oţel şi materiale refractare.

**Rezultate experimentale de laborator**

Pentru încercările de aglomerare a cenuşilor cărbunilor româneşti, principalele însuşiri me-

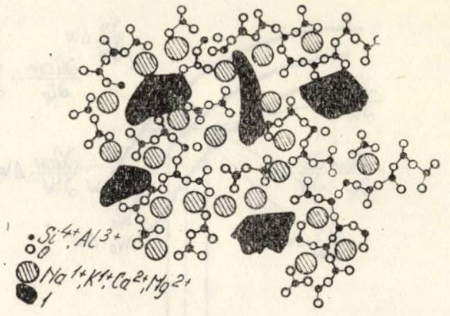



Fig. 2. Reprezentarea schematică a structurii topiturii de cenuşă de cărbune.

canice ale materialului aglomerat au fost determinate cu ajutorul încercărilor la compresiune simplă, întrucît reprezintă un mijloc independent pentru evaluarea curbelor referitoare la punctul de aglomerare.

S-au făcut corpuri de probă cilindrice comprimate cu viteze constante la presă, valorile tensiunilor efective $\sigma$ şi ale deformaţiilor $\varepsilon$ fiind reprezentate prin aşa-numita curbă caracteristică pentru fiecare probă în parte. S-a considerat punct de aglomerare punctul maxim de rezistenţă mecanică al probei respective, conform graficelor prezentate de E. J. Smith [1].

Rezistenţa medie a patru corpuri de probă a fost considerată a fi rezistenţa cenuşii aglomerate la temperatura de aglomerare specificată, multiplicată cu factorul 44,44, care reprezintă raportul suprafeţelor dintre pistonul presei şi suprafaţa pastilei (tabelul 1).

**Parametrii probelor aglomerate** *Tabelul 1*

| Cenuşi provenite din cărbuni de la: | | Temperatura de aglomerare, °C | Durata de aglomerare, ore | Rezistenţa efectivă a probelor de aglomerare, kg/cm² | Rezistenţa reală recalculată faţă de momentul iniţial, kg/cm² |
|---|---|---|---|---|---|
| Rovinari | *A* | 1100 | 12 | 0,69 | 26,66 |
| Şorecani | *B* | | | 0,77 | 33,33 |
| Bratca | *C* | | | 0,53 | 22,22 |
| Sărmăşag | *D* | | | 0,39 | 15,55 |
| Ipu | *E* | | | 1,30 | 51,55 |
| Lupeni | *F* | | | 1,40 | 51,55 |
| Comăneşti | *G* | | | 0,42 | 17,77 |
| Adaos CaO 14 % | *A* | 1100 | 12 | 0,20 | 7,99 |
| | *B* | | | 0,25 | 10,22 |
| | *C* | | | 0,089 | 2,97 |
| | *D* | | | 0,067 | 2,13 |
| | *E* | | | 0,052 | 1,46 |
| | *F* | | | m.d. | — |
| Adaos MgO 14 % | *A* | 1100 | 12 | 0,39 | 16,44 |
| | *B* | | | 0,28 | 11,55 |
| | *C* | | | 0,10 | 3,55 |
| | *D* | | | 0,12 | 4,44 |
| | *E* | | | 0,10 | 3,55 |
| | *F* | | | 0,90 | 34,10 |
| | *G* | | | 0,28 | 10,66 |

Încercările de rezistenţă ale probelor de cenuşi funcţie de temperatură şi de durata de aglomerare au fost efectuate pe cenuşi de cărbuni proveniţi de la exploatările Rovinari, Şorecani, Bratca—Valea Neagră, Sărmăşag, Ipu, Lupeni şi Comăneşti.

Curbele experimentale obţinute au arătat că cenuşile de cărbune cu o mai mare tendinţă de depunere ating o rezistenţă mai mare decît cenuşile de cărbune cu o uşoară tendinţă de depunere.

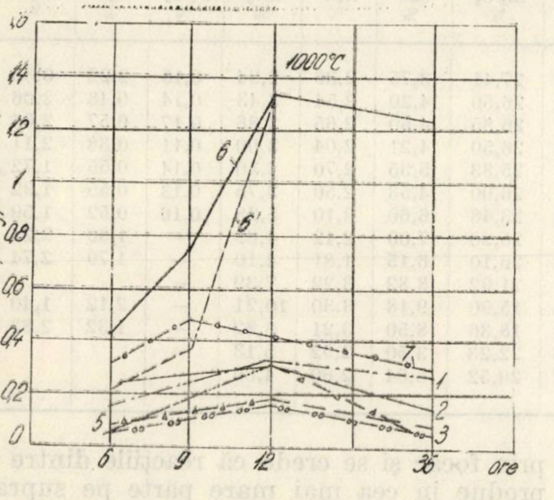



Fig. 3. Efectul timpului asupra rezistenţei cenuşii aglomerate pentru cărbunii cu o uşoară şi o mai mare tendinţă de depunere pentru temperatura de 1000°C.

Cenuşi preparate în laborator : 1 — Rovinari ; 2 — Şorecani ; 3 — Bratca-Valea Neagră ; 4 — Sărmăşag ; 5 — Ipu ; cenuşi volante : 6 — preîncălzitor tr. II cazan I (Paroşeni) ; 6' — preîncălzitor tr. II cazan II ; 7 — precălzitor tr. II cazan I (Comăneşti).

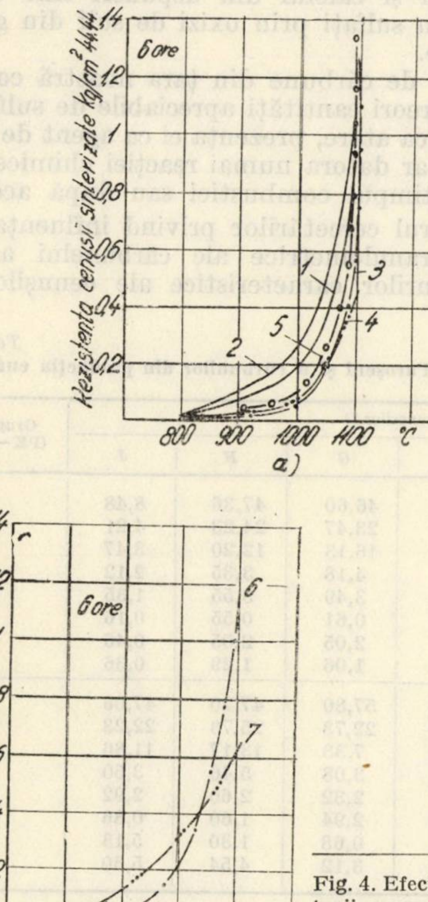



Fig. 4. Efectul temperaturii asupra rezistenţelor cenuşii aglomerate în timp de 6 ore.

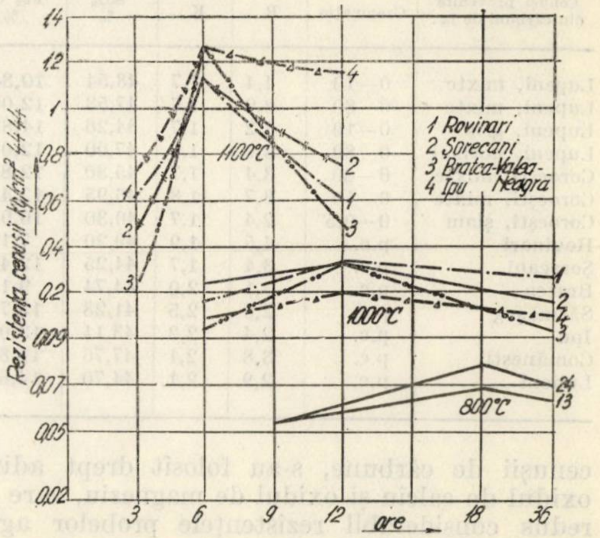



Fig. 5. Efectul timpului asupra rezistenţei cenuşii aglomerate pentru temperaturile de 800, 1000, 1100°C.

Cenuşile cărbunilor de Comăneşti şi Lupeni, care prezintă o tendinţă mare de depunere, se înscriu în diagrama rezistenţă—durată de aglomerare cu valori ale rezistenţelor de aglomerare mai mari decît cenuşile cărbunilor de Rovinari, Şorecani, Sărmăşag şi Ipu, care prezintă numai o uşoară tendinţă de depunere (fig. 3).

Într-o serie de experienţe, probele de cenuşi au fost aglomerate în cuprinsul unor intervale de timp variate şi al unui domeniu de temperaturi considerate ca existente la depunerile de cenuşi pe supraîncălzitor.

Rezultatele care arată efectul unor durate de aglomerare de 6, 9, 12 şi 36 de ore şi temperaturi de 800, 900, 1000 şi 1100° C asupra rezistenţei cenuşii de la aceleaşi corpuri de probă sînt date în figurile 3, 4 şi 5. Din aceste curbe se poate vedea că o creştere a duratei şi a temperaturii de aglomerare va provoca o creştere importantă a rezistenţei ; de asemenea, la mărirea duratei de aglomerare rezistenţa probei atinge în general un maxim, după care scade regulat.

Probele se contractă şi devin progresiv mai dure şi mai rezistente de îndată ce temperatura de aglomerare creşte pînă în momentul în care se atinge o temperatură la care ele încep să se umfle şi să se desfacă prin crăpare. Această împrejurare determină micşorarea rezistenţei, care se obţine după aglomerare la un anumit număr de ore.

Pentru reducerea rezistenţei probelor aglomerate şi, deci, a tendinţei de depunere a

*Tabelul 2*

**Compoziţia cenuşilor de cărbune**

| Cenuşi provenite din cărbuni de la : | Granulaţia | R | K | $SiO_2$ % | $Fe_2O_3$ % | FeO % | $Al_2O_3$ % | CaO % | MgO % | $SO_3$ % | $P_2O_5$ % | $K_2O$ % | $Na_2O$ % | Total alc. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Lupeni, mixte | 0–10 | 4,4 | 1,7 | 48,54 | 10,84 | 0,28 | 27,41 | 3,75 | 2,36 | 2,94 | 0,15 | 2,22 | 0,55 | |
| Lupeni, mixte | 0–80 | 3,9 | 1,7 | 47,53 | 12,09 | 0,10 | 26,50 | 4,20 | 2,54 | 3,43 | 0,14 | 0,48 | 2,06 | |
| Lupeni, griş | 0–10 | 3,2 | 1,7 | 34,26 | 14,82 | 0,16 | 26,85 | 4,50 | 2,65 | 2,86 | 0,17 | 0,57 | 2,06 | |
| Lupeni, normal | 0–80 | 3,9 | 1,3 | 47,00 | 12,07 | 0,12 | 26,50 | 4,21 | 2,04 | 3,00 | 0,11 | 0,38 | 2,11 | |
| Coroeşti, mixte | 0–80 | 3,4 | 1,7 | 45,80 | 12,87 | 0,50 | 25,83 | 5,35 | 2,70 | 4,30 | 0,14 | 0,55 | 1,72 | |
| Coroeşti, mixte | 0–10 | 3,7 | 1,8 | 46,95 | 12,42 | 0,13 | 26,00 | 4,53 | 2,50 | 3,75 | 0,13 | 0,55 | 1,92 | |
| Coroeşti, şlam | 0–0,5 | 2,4 | 1,7 | 40,30 | 16,90 | 0,12 | 23,48 | 6,60 | 3,10 | 5,28 | 0,16 | 0,52 | 1,59 | |
| Rovinari | p.c. | 4,5 | 1,9 | 49,20 | 7,15 | 0,76 | 25,20 | 7,00 | 2,12 | 4,89 | — | 1,30 | 2,24 | |
| Şorecani | p.c. | 3,4 | 1,7 | 44,25 | 12,41 | 0,56 | 26,10 | 6,15 | 1,81 | 4,10 | — | 1,79 | 2,74 | |
| Bratca | p.c. | 3,1 | 2,0 | 44,74 | 9,18 | 0,78 | 21,92 | 8,82 | 3,22 | 7,39 | — | | | 7,16 |
| Sărmăşag | p.c. | 2,0 | 2,5 | 41,28 | 15,75 | 0,96 | 15,90 | 9,18 | 3,30 | 10,21 | — | 2,12 | 1,40 | |
| Ipu | p.c. | 2,4 | 2,3 | 43,11 | 13,06 | 0,79 | 18,36 | 8,50 | 3,21 | 8,82 | — | 1,32 | 2,83 | |
| Comăneşti | p.c. | 3,8 | 2,1 | 47,76 | 11,86 | 0,86 | 22,23 | 3,50 | 2,92 | 5,13 | — | | | 5,60 |
| Lupeni | p.c. | 2,9 | 2,1 | 44,70 | 14,65 | 0,93 | 20,52 | 5,04 | 2,60 | 4,86 | — | | | |

cenuşii de cărbune, s-au folosit drept aditiv oxidul de calciu şi oxidul de magneziu, care au redus considerabil rezistenţele probelor aglomerate (tabelul 1).

În aceste experimentări, efectul oxidului de calciu şi al oxidului de magneziu asupra rezistenţei cenuşii prezintă importanţă atunci cînd se analizează efectul integral al aditivilor de tip dolomit.

Cînd este adăugat la intrarea drumului secundar de gaze, se scontează că dolomitul calcinează repede în această zonă de temperaturi înalte şi trece prin supraîncălzitor în timp foarte scurt ; o parte intră în reacţie, iar cealaltă parte scapă ca dolomită calcinată şi se depune odată cu cenuşa pe ţevile fierbătoare.

Particulele de aditivi şi de cenuşă zburătoare intră în contact una cu alta în timp ce zboară prin focar şi se crede că reacţiile dintre ele se produc în cea mai mare parte pe suprafeţele fasciculelor de ţevi.

Analizele cenuşilor de cărbune au indicat o creştere a conţinutului de sulf şi a conţinutului de calciu, magneziu şi alcalii (tabelul 2). D.H. Barnhart [2] şi E. J. Smith [1] arată că magneziul şi calciul din depuneri sînt transformaţi în sulfaţi prin oxizi de sulf din gazele de ardere.

Cenuşa de cărbune din ţara noastră conţine numai rareori cantităţi apreciabile de sulfat de calciu şi, ca atare, prezenţa ei ca agent de aglomerare s-ar datora numai reacţiei chimice produse în timpul combustiei sau după aceasta.

În cadrul cercetărilor privind influenţa sorturilor granulometrice ale cărbunelui asupra temperaturilor caracteristice ale cenuşilor, în

*Tabelul 3*

**Analiza pe componenţi oxidici a depunerilor de la cazanele PK-38-2 CTE Paroşeni şi a cărbunilor din producţia curentă**

| Constituenţi chimici | % greutatea componenţilor cenuşilor şi depunerilor *) A | B | C | D | E | F | G | H | I | Grupul IV (PK–38–2) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 47,73 | 44,47 | 42,51 | 46,37 | 46,71 | 47,77 | 46,60 | 47,36 | 8,48 | |
| $Al_2O_3$ | 24,41 | 22,33 | 21,06 | 23,47 | 24,36 | 23,85 | 23,47 | 24,23 | 4,21 | |
| $Fe_2O_3$ | 17,00 | 18,31 | 20,92 | 17,93 | 17,43 | 13,95 | 16,13 | 12,20 | 3,47 | |
| CaO | 4,60 | 4,45 | 6,56 | 4,88 | 4,18 | 3,77 | 4,18 | 3,35 | 2,12 | |
| MgO | 4,36 | 3,67 | 4,56 | 3,04 | 3,04 | 4,02 | 3,49 | 3,55 | 1,35 | |
| $Na_2O$ | 0,48 | 0,44 | 0,32 | 0,51 | 0,48 | 0,47 | 0,61 | 0,55 | 0,16 | |
| $K_2O$ | 1,93 | 1,81 | 1,68 | 1,81 | 1,93 | 1,93 | 2,05 | 2,05 | 0,46 | |
| $SO_3$ | 0,14 | 3,27 | 0,85 | 0,60 | 0,59 | 0,67 | 1,06 | 1,29 | 0,36 | |
| $SiO_2$ | 57,32 | 46,56 | 43,74 | 47,84 | 40,06 | 47,02 | 57,80 | 47,20 | 47,06 | |
| $Al_2O_3$ | 23,95 | 19,18 | 24,83 | 26,02 | 26,44 | 26,15 | 22,73 | 25,73 | 22,23 | |
| $Fe_2O_3$ | 7,74 | 10,95 | 14,07 | 10,23 | 17,37 | 10,22 | 7,33 | 13,17 | 11,86 | |
| CaO | 3,22 | 4,02 | 3,92 | 5,88 | 5,74 | 5,18 | 3,08 | 5,46 | 3,50 | |
| MgO | 1,92 | 3,02 | 2,32 | 1,21 | 2,70 | 2,01 | 2,32 | 2,60 | 2,92 | |
| FeO | 2,63 | 0,97 | 2,08 | 2,30 | 2,15 | 2,14 | 2,94 | 1,60 | 0,86 | |
| $SO_3$ | 0,79 | 6,10 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,68 | 1,30 | 5,13 | |
| Alcalii | 2,71 | 8,63 | 8,13 | 6,51 | 5,33 | 7,20 | 3,12 | 4,54 | 5,60 | |

*) *A* — cenuşă din pîlnia rece camera focară.
*B* — cenuşă după supraîncălzitorul-paravan.
*C* — cenuşă după supraîncălzitorul intermediar tr. II.
*D* — cenuşă înainte de preîncălzitorul de aer tr. II.
*E* — cenuşă economizor.
*F* — cenuşă preîncălzitor aer tr. I.
*G* — cenuşă multicicloane filtre mecanice.
*H* — cenuşă electrofiltre.
*I* — cenuşă din cărbuni produse curente.

scopul eliminării fenomenului de depunere și coroziune, au fost studiați cărbunii de Lupeni, Petrila, Coroești.

În tabelul 3 se prezintă experimental analiza chimică a depunerilor de pe suprafețele de schimb de căldură ale cazanelor 4 și 5 (PK-38-2)

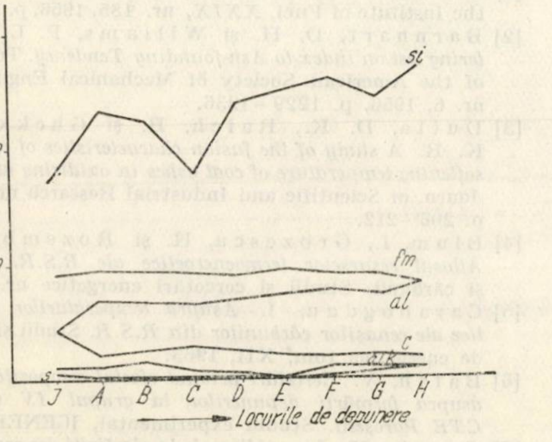



Fig. 6. Compoziția chimică funcție de locul de depunere și temperatură (cazan 4 — CTE Paroșeni).

de la CTE Paroșeni, precum și modificarea lor în funcție de temperatură.

În figurile 6 și 7 (în moli %) se poate urmări grafic modificarea chimică a cenușii în fază lichidă la echilibru, explicînd în parte ponderea formării și modificării compușilor chimici pe diferite trepte de încălzire a cazanului.

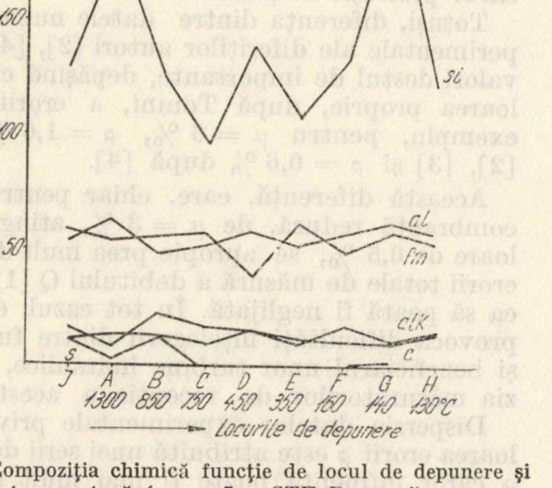



Fig. 7. Compoziția chimică funcție de locul de depunere și temperatură (cazan 5 — CTE Paroșeni).

Din figurile 6 și 7 se observă că depunerile și cenușile au un conținut ridicat de oxizi acizi ($SiO_2$ și $Al_2O_3$).

Pentru ambele cazane, maximul valorii Si (combinații silicatice) se întîlnește în zgura din pîlnia rece, camera focară și în cenușa colectată de la filtre.

Depunerile aderente sînt mai sărace în siliciu, prezentînd totuși valori ridicate.

Aceasta concordă cu procentele de greutate a cenușii combustibilului de 48—50% $SiO_2$ (tabelul 2).

Dimpotrivă, depunerile aderente, care sînt în general bogate în alcalii, prezintă în cazul de față valori relativ mici; ele prezintă valori maxime în punctul supraîncălzitorului-paravan.

Valorile S (date de $SO_3$) sînt, de asemenea, destul de reduse, însă suficiente pentru a forma combinații de tipul $SO_4Na_2$ și $SO_4K_2$, care la punctul de topire 884°C și 1067°C oferă consistența de cimentare a depunerilor și, mai departe, coroziunea suprafețelor de schimb de căldură.

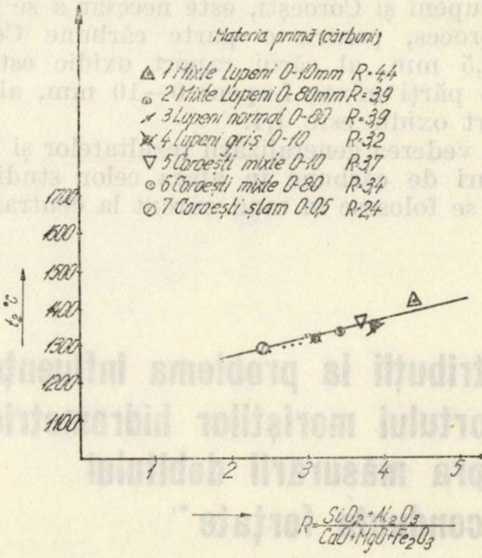



Fig. 8. Variația punctelor caracteristice ale cenușilor în funcție de compoziția chimică oxidică.

Valorile S prezintă un maxim în domeniul temperaturilor superioare.

În figura 8 se prezintă caracteristicile de topire pentru cenușile cărbunilor de Lupeni, Petrila și Coroești pe diferite sorturi granulometrice, funcție de compoziția chimică.

În procesul de exploatare, trecerea de la un sort granulometric la altul poate, în funcție de combustibil, respectiv de cenușa acestuia, să ridice probleme dificile legate de depuneri.

Dacă se acceptă, pe de o parte, că aluminiul și siliciul sînt predominanți ca agenți de rețea în cenușile cărbunilor, iar pe de altă parte că perturbarea acestei rețele prin formare de locuri de separare este provocată de ionii $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, $Fe^{3+}$, $K^{+}$, $Na^{+}$ (*Me*-transductorii de rețea),

există posibilitatea unei legături a compoziției chimice a cenușii dată prin raportul

$$R = \frac{\% Al_2O_3 + \% SiO_2}{\Sigma \% Me}$$

de temperaturile de fuziune a cenușii [6].

Din analiza rezultatelor reiese că temperaturile caracteristice ale cenușilor cărbunilor de Lupeni, Petrila și Coroești, care alimentează cazanele 4 și 5 PK-38-2 de la CTE Paroșeni, sînt direct proporționale cu raportul $R$, respectiv la valori ridicate ale raportului oxidic corespund temperaturi caracteristice ridicate, și invers.

În cazul funcționării cazanului în condiții lipsite de depuneri, temperaturile caracteristice ale cenușilor trebuie să fie cu minimum 50°C peste temperatura gazelor de ardere.

În cazul funcționării cazanului în condiții lipsite de depuneri (de exmplu la CTE Paroșeni), cînd se utilizează în procesul de ardere cărbuni de Lupeni și Coroești, este necesar a se utiliza în proces, pentru o parte cărbune Coroești 0—0,5 mm, al cărui raport oxidic este 2,4, două părți mixte Lupeni 0—10 mm, al cărui raport oxidic este 4,4.

În vederea generalizării rezultatelor și la alte sorturi de cărbune în afara celor studiate și care se folosesc în mod curent la centralele de mare putere, trebuie făcute determinări privind modificarea caracteristicilor de topire prin dozări de cărbuni de diferite sorturi, sau prin modificarea caracteristicilor de rezistență a cenușilor aglomerate.

**Bibliografie**


[1] S m i t h, E. J. *The sintering of Ely-ash.* Journal of the Institute of Fuel, *XXIX*, nr. 185, 1956, p. 253—260.

[2] B a r n h a r t, D. H. și W i l i a m s, P. C. *The sintering test on index to Ash-founding Tendency.* Transaction of the American Society of Mechanical Engineers, *78*, nr. 6, 1956, p. 1229—1236.

[3] D u t t a, D. K., R a i c h, B. și G h e k x o v a r y, K. R. *A study of the fusion characteristics of coal ashes; softening temperature of coal ashes in oxidizing atmosphere.* Journ. of Scientific and Industrial Research nr. 6, 1960, p. 206—212.

[4] B l u m, I., G r o z e s c u, H. și R o z e m b e r g, M. *Atlasul resurselor termoenergetice ale R.S.R.* Geologia și cărbunii. Studii și cercetări energetice nr. 4, 1960.

[5] C a r a b o g d a n, I. *Asupra temperaturilor caracteristice ale cenușilor cărbunilor din R.S.R.* Studii și cercetări de energetică tom. XII, 1963.

[6] B ă l a n, V. *Cercetări privind efectul compoziției chimice asupra formării depunerilor la grupul IV (PK-38-2) CTE Paroșeni.* Studiu experimental, ICENERG, 1969.

[7] G u e r i n, H. *Le problème de la réactivité des combustibles. solides.* Paris, Dunod, 1945, p. 80—120.

[8] B ă l a n, V. *Aspecte privind modificarea caracteristicilor fizico-chimice ale depunerilor provenite din arderea combustibililor în centrale.* Comunicare la Consfătuirea tehnico-științifică CNIT — ISPE, Galați, 22—24 oct. 1970.


**(Articol intrat în redacție la 11 mai 1971)**

# Contribuții la problema influenței suportului moriștilor hidrometrice asupra măsurării debitului în conducte forțate *)

Dr. ing. **Gh. Cosma** **)

## 1. Punerea problemei

Eroarea ρ atribuită prezenței, în conducta forțată circulară, a suportului moriștilor hidrometrice, în timpul determinării debitului $Q$ prin metoda vitezelor punctuale [2,3,4], era neglijată în perioada elaborării codului internațional C.E.I.[1], această eroare nefăcînd obiectul nici unei recomandări a acestui cod. Ea este cunoscută sub numele de eroare de ancombranță.

*) Lucrarea a apărut, în paralel, și în ,,L'Energia Elettrica'' nr. 8, 1971.

**) Dr. ing. Gheorghe Cosma este șeful serviciului raționalizări hidroenergetice din cadrul I.R.M.E. București.

***) Ceea ce s-a și întîmplat la recepția turbinelor CHE Argeș, cînd din această cauză protocolul măsurătorilor a fost încheiat cu divergențe, fapt ce a provocat și justificat preocuparea concretizată în acest articol.

Cercetări aproximativ contemporane acestei elaborări au adus cifre utile asupra valorii ei în funcție de ancombranța $\mu = s/S$, care exprimă, în procente sau în valori relative, îngustarea secțiunii de măsură $S$ produsă de suportul a cărui proiecție în planul $S$ este $s$.

Totuși, diferența dintre datele numerice experimentale ale diferiților autori [2], [4] atinge valori destul de importante, depășind chiar valoarea proprie, după Tonini, a erorii ρ. De exemplu, pentru $\mu = 6\ \%$, $\rho = 1{,}6\ \%$ după [2], [3] și $\rho = 0{,}6\ \%$ după [4].

Această diferență, care, chiar pentru o ancombranță redusă, de $\mu = 3\ \%$, atinge o valoare de 0,5 %, se apropie prea mult de limita erorii totale de măsură a debitului Q [1] pentru ca să poată fi neglijată. În tot cazul, ea poate provoca dificultăți înțelegerii dintre furnizorul și beneficiarul unor turbine hidraulice, cu ocazia măsurătorilor de recepție a acestora***).

Dispersia datelor experimentale privind valoarea erorii ρ este atribuită unei serii de factori a căror influență poate fi mai mult sau mai puțin importantă [4]. Lista lor, redată în paragraful următor, este destul de lungă. Domeniul dispersiei respective (fig. 1), considerat destul de important, nu este totuși suficient de extins pentru a permite identificarea, în interiorul

acestuia, a unei multitudini de influenţe distincte. Dispersia proprie, inevitabilă, a acestora, reprezintă un fel de „zgomot de fond" de natură să îngreuneze delimitarea lor.

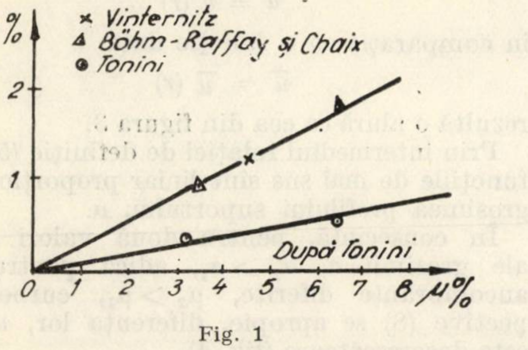



Fig. 1

Sporirea numărului de măsurători asupra erorii ρ nu rezolvă, ea singură, problema. Dimpotrivă, este posibil ca noile date obţinute să lărgească domeniul acestei dispersii în loc să se includă în aceasta, ceea ce s-a şi întîmplat ca rezultat al măsurătorilor prezentate mai jos.

Singura şansă de a obţine, cu eforturi justificabile, o precizie suplimentară a cunoaşterii erorii ρ, este ca unul dintre factorii amintiţi să aibă o influenţă de pondere net superioară celorlalţi, putînd completa astfel corelaţia

$$\rho = \rho(\mu) \qquad (1)$$

cu încă un parametru, $\gamma$, punînd-o deci sub forma

$$\rho = \rho(\mu, \gamma) \qquad (2)$$

Obiectul cercetărilor expuse aici îl formează deci, în primul rînd, o încercare de identificare a unui asemenea parametru şi apoi determinarea experimentală a unei corelaţii de tipul (2), cu o precizie care să justifice eforturile întreprinse.

**Premise**

*A*. Dispersia valorilor erorii ρ se încadrează în limite care acoperă ± 41 % din media lor, după datele din literatură (fig. 1), sau ± 67 % după datele completate cu cele obţinute prin măsurătorile proprii (fig. 8).

În valoare absolută — adică raportată la debitul pe care îl afectează eroarea ρ — această dispersie acoperă aproximativ ± 0,50 %, respectiv ± 0,60 % la $\mu = 6$ %.

Aceste cifre dau o imagine cantitativă a valorii de care trebuie să se apropie influenţa parametrului $\gamma$ căutat, pentru ca să fie remarcabilă.

*B*. După Tonini [4], factorii ce pot afecta eroarea de ancombranţă ρ ar putea fi :

a) influenţa peretelui conductei ;

b) influenţa reciprocă dintre morişti ;

c) numărul moriştilor ;

d) înclinarea moriştilor faţă de orizontală ;

e) profilul rotorului moriştii ;

f) profilul braţelor suportului ;

g) greutatea rotorului ;

la care se adaugă ;

h) distanţa rotorului moriştii în amonte de suport ;

i) efectul de scară.

*C*. Distanţa moriştii marginale faţă de peretele conductei şi numărul acestora sînt date în normele internaţionale [1] şi naţionale, în aşa fel încît să nu producă erori remarcabile. De aceea ele pot fi neglijate în preocuparea enunţată. Efectul lor însumat ar putea juca un anumit rol nu atît în valoarea absolută, cît poate în cea raportată la diametrul conductei : ele ar putea deci să intre ca factori componenţi ai efectului de scară, cunoscut de domeniul similitudinii maşinilor hidraulice.

O încercare de corelare a erorilor ρ din literatură şi a celor proprii cu diametrul conductei nu a dat însă rezultate concludente care să merite a fi reproduse, fie din cauză că datele experimentale sînt încă prea puţine, fie din cauză că efectul de scară este prea redus pentru a se putea detaşa destul de pregnant din „zgomotul de fond" al altor influenţe.

În toate cercetările citate şi în cele proprii, moriştile au fost orizontale, deci considerarea acestui factor este deocamdată fără obiect.

Distanţa rotorului moriştilor a fost practic aceeaşi (circa 220—230 mm pînă la centrul de greutate şi circa 250 mm pînă la vîrful rotorului) la toţi autorii.

Considerarea influenţei profilului, deci a tipului rotorului moriştilor, ar duce în mod practic la admiterea unor valori proprii ale erorii ρ — respectiv ale corelaţiei — pentru fiecare tip de morişcă în parte. În orice caz, numai un număr corespunzător de verificări experimentale, destul de scumpe şi greoaie, ar putea duce la o concluzie în acest sens. În lipsa acestei posibilităţi, cel puţin în prezent, considerăm neglijabilă şi această influenţă, pe care de altfel nimic nu ne-o recomandă ca remarcabilă.

*D*. Rolul profilului braţelor suportului reţine atenţia prin faptul că eroarea de ancombranţă poate fi considerată ca un efect al curgerii printr-o reţea de profile, în cazul nostru o reţea radială [3].

Coeficientul de ancombranţă $\mu$ poate fi pus sub forma

$$\mu \cong \frac{4}{\pi}\frac{R\,a}{R^2} = \frac{4}{\pi}\frac{a}{R} \qquad (3)$$

în care $a$ este grosimea braţelor profilului suportului.

Raportul $a/R$ aminteşte factorul $\varphi = E/T$ al unei reţele infinite de profile paralele ($E$ fiind grosimea profilelor, iar $T$ pasul profilului).

Corelaţia dintre modificarea $\Delta v$ a vitezei fluidului produsă de reţea şi factorul $\varphi$

$$\Delta v = \Delta v\,(\varphi) \qquad (4)$$

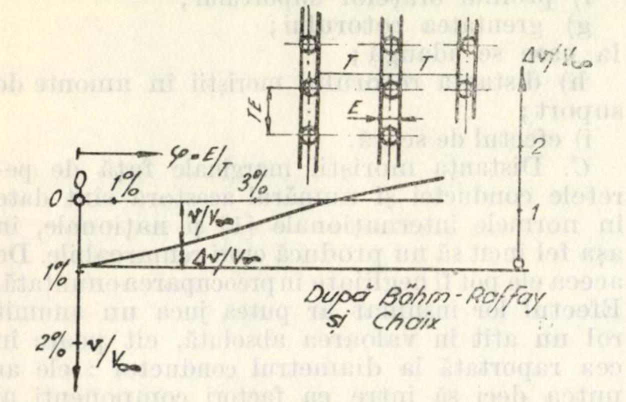



Fig. 2

poate fi considerată liniară într-o primă aproximaţie [3] (fig. 2), deci are o formă asemănătoare cu corelaţia (1) pe care pare că o explică.

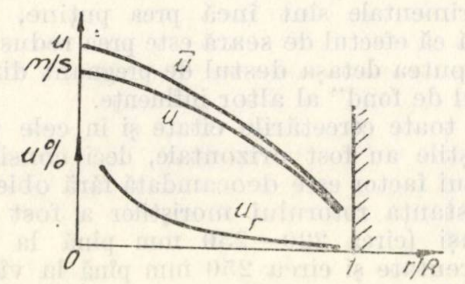



Fig. 3

Pentru a examina consecinţele în detaliu ale acestei ipoteze introducem noţiunea de ancombranţă locală $\mu_r$ a suportului

$$\mu_r = \frac{a}{r} = \varphi_r \qquad (5)$$

echivalentă cu factorul variabil în funcţie de $r$ a reţelei radiale $\varphi_r$.

Notînd cu $u_r$ viteza locală la raza $r$ şi cu $\Delta u_r$ modificarea locală a vitezei $u_r$ provocată de reţeaua caracterizată prin factorul local $\varphi_r = \mu_r$, corelaţia

$$\Delta u_r = \Delta u_r\,(\mu_r) \qquad (6)$$

este evident crescătoare şi, într-o aproximaţie oricît de grosieră, o putem considera liniară, ca şi corelaţia (4) (fig. 2).

Funcţia (5) este descrescătoare prin structură (fig. 3), deci – prin intermediul relaţiei (6) – şi funcţia

$$\Delta u_r = \Delta u_r\,(r) \qquad (7)$$

este, de asemenea, descrescătoare.

Notînd prin $\overline{u}_r$ viteza locală nemodificată de prezenţa suportului (considerat reţea radială) şi prin $u_r$ viteza măsurată în prezenţa suportului ($\Delta u_r = \overline{u}_r - u_r$), pentru funcţia

$$u = u\,(r) \qquad (8)$$

în comparaţie cu o funcţie dată

$$\overline{u} = \overline{u}\,(r) \qquad (9)$$

rezultă o alură ca cea din figura 3.

Prin intermediul relaţiei de definiţie (5), toate funcţiile de mai sus sînt liniar proporţionale cu grosimea profilului suportului, $a$.

În consecinţă, pentru două valori diferite ale grosimii $a$, $a_2 > a_1$, adică pentru două ancombranţe diferite, $\mu_2 > \mu_1$, curbele respective (8) se apropie, diferenţa lor, $u_2 - u_1$, este descrescătoare (fig. 4).

Cercetări experimentale au pus însă în evidenţă o altă alură a curbelor (8) trasate,pentru acelaşi debit, la valori diferite ale ancombranţei, $\mu_2 > \mu_1$, şi anume o diferenţă crescătoare a vitezelor $u_2 - u_1$ în funcţie de $r$ (fig. 5, extrasă din [3]), fenomen explicat printr-o anumită deviere înspre exterior a firelor de curent: „. . .eine Verschiebung des Durchflusses nach aussen entschprechend einer Verminderung des Verhaltnisses $E/T$" [3].

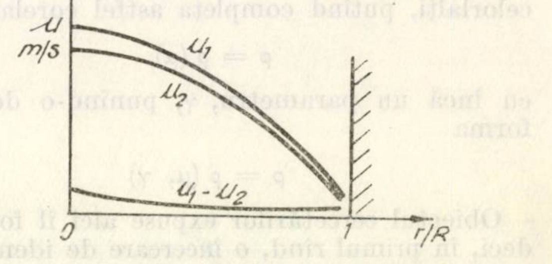



Fig. 4

În cercetările proprii am întîlnit o alură a diferenţei curbelor (8) pentru două ancombranţe diferite, care pare a urma o cale de mijloc

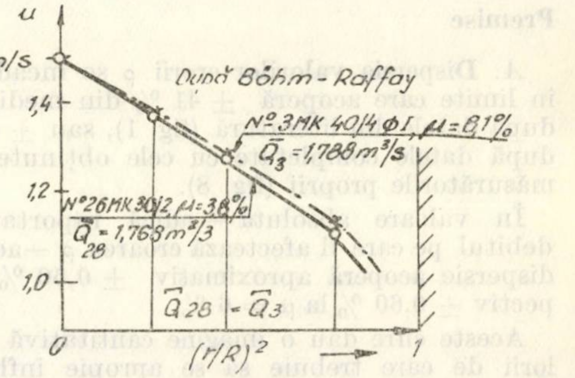



Fig. 5

între cele de mai sus (fig. 6, în comparaţie cu fig. 4 şi 5).

Aspectele contradictorii puse în evidenţă în cele de mai sus nu permit deci să se obţină o

cale limpede de explicare a fenomenului de ancombranţă cu ajutorul proprietăţilor teoretice globale sau de detaliu ale unei reţele de profil.

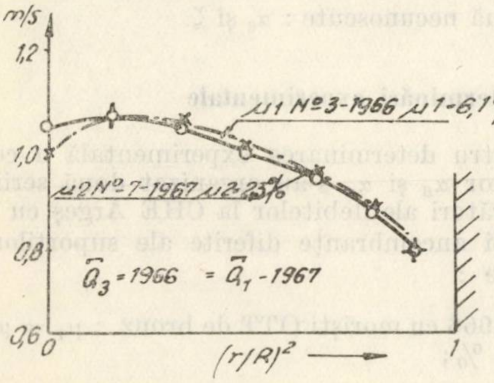



Fig. 6

*E*. Cercetări relativ recente [5], [6] au pus în evidenţă o comportare diferită a moriştilor hidrometrice într-un canal cu mişcare turbulentă în funcţie de greutatea rotoarelor respective, şi anume în comparaţie cu etalonarea lor în canale hidrostatice, la acelaşi debit moriştile din bronz indică viteze cu 1—2 % mai mari decît cele de aluminiu.

Se ştie că etalonarea în canale hidrostatice are ca premisă principiul relativităţii mişcării. În consecinţă, corelaţia dintre viteza apei faţă de morişcă, *v*, şi turaţia rotorului moriştii se obţine prin mişcarea acesteia din urmă faţă de apa care este staţionară. Dar în acest caz traiectoriile moleculelor apei, faţă de morişcă, sînt paralele — cel puţin în zona „de atac" de prim contact între apă şi morişcă — în acest desen al traiectoriilor, corespund mişcării laminare.

Obiectul prezentei lucrări fiind doar folosirea, în scopul enunţat, a influenţei greutăţii rotorului moriştilor hidrometrice, este suficient să se citeze explicaţia ei aşa cum este formulată succint în [4] : „Viteza mai mare, măsurată de un rotor mai greu, găseşte explicaţia în faptul că acceleraţia vitezei curentului de apă acţionează în sensul activ la profilului rotorului şi este urmată de o creştere neîntîrziată a rotaţiei acestuia; dimpotrivă, o decelerare acţionează pe faţa sa pasivă („not attivo") iar instalarea noului regim de rotaţie este întîrziată de inerţia rotorului".

Valoarea numerică a influenţei greutăţii rotorului asupra vitezei măsurate, precum şi caracterul distinct al acestei influenţe în curgerea turbulentă a apei, recomandă acest parametru drept cel căutat şi notat prin $\gamma$ în relaţia (2).

Considerăm, ca şi autorii citaţi, că greutatea respectivă poate fi caracterizată cantitativ prin greutatea specifică a bronzului, $\gamma_B$, respectiv a aluminiului, $\gamma_A$.

Diferenţa lor este destul de mare ($\gamma_A = 8{,}7$ ; $\gamma_B = 2{,}8$) pentru ca să putem considera că ele acoperă în mod reprezentativ domeniile greutăţilor rotoarelor de bronz, respectiv de aluminiu. Diferenţele de volum şi formă dintre diferitele tipuri de morişti pot fi considerate, într-o primă aproximaţie, drept cauze ale unor abateri aleatorii faţă de greutăţile medii ale acestora.

## 3. Forma analitică a relaţiilor

*A*. Pentru corelaţia liniară (1) propunem forma :

$$\rho = \alpha\mu \tag{10}$$

în care $\alpha$ este coeficientul unghiular al dreptelor din figura 1. El permite exprimarea sub o formă mai comodă a rezultatelor experimentale exprimate grafic în literatură [3, 4].

Notînd provizoriu prin $\alpha_T$ valoarea respectivă ce corespunde rezultatelor date de Tonini [4] avem :

$$\alpha_{AT} = 0{,}103 \tag{11}$$

iar pentru cele ale lui Winternitz şi Bőhm-Raffay şi Chaix

$$\alpha_{BW} = 0{,}265 \tag{12}$$

Coeficienţii $\alpha$ de mai sus sînt folosiţi în continuare şi în funcţie de materialul moriştilor respective, de aceea în notarea lor am introdus şi indicii *A* pentru aluminiu [4] şi *B* pentru bronz [3].

*B*. Pentru introducerea influenţei greutăţii rotorului, prin intermediul greutăţii specifice $\gamma$ a materialului respectiv, propunem pentru $\alpha$ o expresie de forma

$$\alpha = \alpha_0 (1 + \gamma\zeta) \tag{13}$$

în care $\alpha_0$ ar reprezenta coeficientul $\alpha$ pentru un rotor ipotetic, fără greutate, iar $\zeta$ un coeficient experimental.

Pentru morişti din bronz am avea, deci,

$$\alpha_B = \alpha_0 (1 + \gamma_B\zeta) = \alpha_0 (1 + 8{,}7\ \zeta), \tag{14}$$

iar pentru cele din aluminiu

$$\alpha_A = \alpha_0 (1 + \gamma_A\zeta) = \alpha_0 (1 + 2{,}8\ \zeta) \tag{15}$$

*C*. Expunem mai jos stabilirea unor relaţii teoretice folosite în continuare la determinarea experimentală a valorii numerice a coeficienţilor $\alpha$, $\alpha_B$ şi $\alpha_A$.

Notînd cu $\overline{Q}$ debitul real, necunoscut, şi cu $\overline{Q}$ debitul măsurat cu eroarea de ancombranţă $\rho$, putem scrie

$$\overline{Q} = \overline{Q}\ (1 - \rho) \tag{16}$$

relaţie care, pentru două cazuri distincte, caracterizate prin ancombranţe diferite $\mu_1 \neq \mu_2$ devine

$$Q_1 = Q_2 (1 - \rho_1) \quad (17)$$

$$Q_2 = Q_2 (1 - \rho_2) \quad (18)$$

Pentru a compara debitele $Q_1$, $Q_2$ etc., se poate folosi un traductor de control potrivit [7], de exemplu un confuzor existent pe conducta în care, într-o altă secţiune, se instalează crucea de morişti pentru măsurarea debitelor $Q$. Notînd prin $D$ diferenţa de presiune creată de confuzor, putem folosi formula debitmetrică cunoscută

$$Q = K \sqrt{D} \quad (19)$$

care, pentru debitul măsurat $\overline{Q}$, devine

$$\overline{Q} = \overline{K} \sqrt{D} \quad (20)$$

iar pentru cel real $\overline{\overline{Q}}$

$$\overline{\overline{Q}} = \overline{\overline{K}} \sqrt{D} \quad (21)$$

Introducînd în (17) şi (18) expresiile (20), (21) şi (10) rezultă relaţia, independentă de $D$,

$$\frac{\overline{\overline{K_1}}}{\overline{\overline{K_2}}} = \frac{\overline{K_1}}{\overline{K_2}} \cdot \frac{1 - \mu_1\alpha}{1 - \mu_2\alpha} \quad (22)$$

în care prin $\overline{\overline{K}}$ şi $\overline{K}$ se notează valorile reale, respectiv măsurate ale coeficientului debitmetric al relaţiei (19).

Coeficientul real $\overline{\overline{K}}$ este evident necunoscut, dar, pentru cele două serii de măsurători considerate, el are aceeaşi valoare în cazul folosirii aceluiaşi traductor de control

$$\overline{\overline{K_1}} = \overline{\overline{K_2}} \quad (23)$$

şi în consecinţă (22) devine

$$\frac{\overline{K_1}}{\overline{K_2}}(1 - \mu_1\alpha) = 1 - \mu_2\alpha \quad (24)$$

Relaţia (24) poate fi folosită ca o ecuaţie liniară ce permite calculul coeficientului $\alpha$, $\overline{K}_1$, $\overline{K}_2$, $\mu_1$ şi $\mu_2$ fiind cunoscuţi prin măsurători.

Avantajul folosirii unei relaţii de tipul (24) constă în faptul că prin intermediul valorilor coeficienţilor debitmetrici $\overline{K}_1$ şi $\overline{K}_2$ se pot introduce într-o singură ecuaţie o serie întreagă de măsurători de debite efectuate în aceleaşi condiţii, reducînd astfel influenţa erorilor aleatorii specifice acestor măsurători.

În cazul în care la cele două serii de măsurători necesare verificării experimentale se folosesc morişti de bronz, respectiv de aluminiu, folosim în consecinţă indicii $B$ şi $A$ pentru parametrii respectivi ai celor două serii de măsurători.

Printr-un raţionament asemănător celui de mai sus, introducînd (10), (14), (15), (17) şi (18) în (20) şi (21) se obţine ecuaţia

$$\frac{\overline{K}_B}{\overline{K}_A}[1 - \mu_B\,\alpha_0(1+8{,}7\zeta)] = 1 - \mu_A\alpha_0(1 + 2{,}7\zeta) \quad (25)$$

cu două necunoscute : $\alpha_0$ şi $\zeta$.

## 4. Determinări experimentale

Pentru determinarea experimentală a coeficienţilor $\alpha_B$ şi $\alpha_A$ s-au organizat două serii de măsurători ale debitelor la CHE Argeş cu morişti şi ancombranţe diferite ale suporţilor, şi anume :

în 1966 cu morişti OTT de bronz : $\mu_1 = \mu_B = 6{,}1\ \%$ ;

în 1967 cu morişti IRME de aluminiu : $\mu_2 = \mu_A = 3{,}2\ \%$.

Măsurătorile au fost efectuate, evident, cu respectarea recomandărilor codului CEI [1] şi cu o atenţie deosebită dată reducerii la minimum a erorilor de detaliu. Pentru exemplificare arătăm că diametrul de 4142 mm al secţiunii de măsură din 1966 şi cel de 4145 mm al unei secţiuni alăturate în 1967, s-au determinat ca o medie a 6, respectiv 8 diametre, uniform distribuite unghiular, măsurate cu o eroare de 2 mm (0,05 %).

Considerînd cunoscută tehnica acestor măsurători, mai trebuie arătat doar faptul că drept traductor de control s-au folosit confuzorii Ø 1600/Ø 1200 mm de la intrarea în fiecare din cele patru turbine ale centralei, măsurătorile efectuîndu-se în limitele debitelor cîte unei singure turbine, celelalte fiind oprite, cu vanele sferice închise şi cu toate consumurile secundare de apă (apă de răcire) deconectate de la conducta de aducţiune pe care s-au făcut măsurătorile.

Pentru calculele necesare determinării coeficienţilor $\alpha$, $\alpha_B$ şi $\alpha_A$ s-au folosit datele măsurătorilor pentru turbinele nr. I şi II, arătate în tabelul 1.

*Tabelul 1*

| Seria Nr. | Turbina I | | Turbina II | |
|---|---|---|---|---|
| | $\overline{K}$ | ε, % | $\overline{K}$ | ε, % |
| 1 (1966) | 10,935 × × 1,0225 = = 11,181 | 0,089 | 10,951 × × 1,0225 = = 11,196 | 0,18 |
| 2 (1967) | 11,112 | | 11,127 | 0,37 |

Coeficientul 1,0225 ce afectează valorile $\overline{K}$ din seria 1 (1966) a măsurătorilor reprezintă un coeficient mediu de reetalonare a moriştilor hidrometrice, datorită faptului că în timpul măsurătorilor s-au folosit relaţiile de etalonare date de firma Ott pe suport-standard Ott, moriştile fiind noi, iar ulterior s-au reetalonat la V.U.V.-Praha pe suport identic cu cel folosit la măsurătorile în conductă.

$\varepsilon$ % reprezintă eroarea medie pătratică a valorilor $\overline{K}$. Calculele au fost efectuate pe un calculator electronic.

În tabelul 2 sînt date valorile rapoartelor $\overline{K}/_1\overline{K}_2$ pentru cele două serii de măsurători.

*Tabelul 2*

| Seria Nr. | $\overline{K}$ pentru turbina : I | $\overline{K}$ pentru turbina : II | $\frac{\overline{K}_I}{\overline{K}_{II}}$ |
|---|---|---|---|
| 1 | 11,181 | 11,198 | 0,99845 |
| 2 | 11,112 | 11,127 | 0,99865 |
| $\frac{\overline{K}_1}{\overline{K}_2} = \frac{\overline{K}_B}{\overline{K}_A}$ | 1,00625 | 1,00639 | |
| | 1,00632 | | |

Pentru controlul reproductibilităţii măsurătorilor celor două serii s-a calculat şi raportul coeficienţilor $\overline{K}$ ai celor două turbine $\overline{K}_I/\overline{K}_{II}$, raport care, teoretic, este acelaşi pentru seriile 1 şi 2, iar în practică au avut valori diferite cu numai 0,00020, adică circa 0,02 %.

Introducînd în ecuaţia (24) valorile $\overline{K}_1/\overline{K}_2$ pentru cele două turbine, s-au obţinut valorile

$$\alpha_I = 0,1625$$

$$\alpha_{II} = 0,1677$$

sau, în medie,

$$\alpha = 0,165 \pm 0,0026 \tag{26}$$

Abaterea de circa $\pm$ 1,6 % a valorii coeficientului $\alpha$, corespunzătoare celor două confuzoare folosite, faţă de media lor, se reflectă prin erori sub 0,1 % în valoarea debitului calculat cu formula (16), eroare complet neglijabilă.

Pentru a calcula valorile $\alpha_0$ şi $\zeta$ ce corespund datelor din literatură [2], [3], [4] s-au introdus valorile coeficientului $\alpha$ pentru bronz (12), respectiv pentru aluminiu (11) în relaţiile (14), respectiv (15), obţinînd sistemul de ecuaţii

$$\begin{cases} \alpha_0 + 8,7\zeta = 0,265 \\ \alpha_0 + 2,8\zeta = 0,103 \end{cases} \tag{27}$$

şi sistemul de soluţii

$$\begin{cases} \alpha_0 = 0,026 \\ \zeta = 1,052 \end{cases} \tag{28}$$

care, împreună cu (11) şi (12), reprezintă valorile coeficienţilor $\alpha_B$, $\alpha_A$, $\alpha_0$ şi $\zeta$, conform datelor experimentale din literatură.

Folosirea ecuaţiei (25) pentru determinarea — şi prin intermediul formulelor (14) şi (15) — a coeficienţilor respectivi, conform datelor experimentale proprii, întîmpină o dificultate în faptul că ecuaţia (25) are două necunoscute : $\alpha_0$ şi $\zeta$.

Avînd în vedere caracterul de relaţie experimentală al formulei (13), s-a depăşit această dificultate admiţînd arbitrar o valoare dată pentru una din necunoscute.

În această idee am admis pentru $\alpha_0$ şi $\zeta$, succesiv, valorile respective din (28). Introducînd în ecuaţia (25) valorile $\overline{K}_B/\overline{K}_A$ din tabelul 2, $\mu_B = \mu_1 = 0,061$ şi $\mu_A = \mu_1 = 0,032$ şi introducînd rezultatele obţinute în formulele (14) şi (15), s-au obţinut succesiv sistemele de soluţii :

$$\begin{matrix} \alpha_{01} = 0,026 & \alpha_{02} = 0,013 \\ \zeta_1 = 0,408 & \zeta_2 = 1,052 \\ \alpha_{B1} = 0,118 & \alpha_{B2} = 0,132 \\ \alpha_{A1} = 0,056 & \alpha_{A2} = 0,051 \end{matrix} \tag{29}$$

şi sistemul mediilor lor

$$\begin{matrix} \alpha_{0c} = 0,019 \\ \zeta_c = 0,627 \\ \alpha_{BC} = 0,122 \\ \alpha_{AC} = 0,052 \end{matrix} \tag{30}$$

care reprezintă valorile coeficienţilor respectivi conform datelor experimentale ale autorului şi celor din literatură.

Diagrama din figura 7 reprezintă corelaţiile experimentale $\alpha = \alpha(\gamma)$. Din examinarea acesteia se vede că corelaţia $\alpha = \alpha(\gamma)$, conform datelor experimentale din literatură, este clar distinctă de grupul corelaţiilor, conform datelor de mai sus şi că cele corespunzătoare variantelor

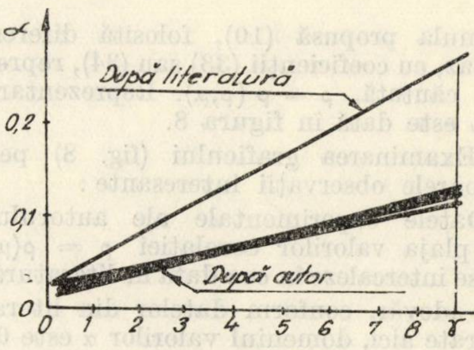


Fig. 7

de calcul admise (29) au o dispersie mică faţă de media lor (30), confirmînd valabilitatea metodei de calcul adoptată.

## 5. Interpretarea rezultatelor experimentale

*A.* Introducînd valoarea $\alpha_c$ — şi valorile corespunzătoare $\rho_1$ pentru $\mu_1 = 0,061$ şi $\rho_2$ pentru $\mu_2 = 0,032$ — în diagrama din figura 1, în aparenţă rezultatele autorului se intercalează între cele din literatură, pledînd pentru adoptarea mediei acestora din urmă.

În realitate valoarea $\alpha_c$ şi toate celelalte ce îi corespund nu au o valoare practică, deoarece măsurătorile ce le-au prilejuit nu sînt comparabile, o serie fiind efectuate cu morişti de bronz (1966), iar cealaltă cu morişti de aluminiu (1967).

*B.* Valorile coeficienţilor $\alpha_B$ şi $\alpha_A$, calculate cu considerarea influenţei factorului $\gamma$ ce reprezintă ponderea greutăţii rotorului moriştilor respective, pot fi grupate în funcţie de acest criteriu :

$$\text{pentru bronz} \begin{cases} \text{după datele din literatură}: \alpha_{BW} = 0,265 \\ \text{după datele autorului}: \alpha_{BC} = 0,122 \end{cases} \quad (31)$$

$$\text{pentru aluminiu}: \begin{cases} \text{după datele din literatură}: \alpha_{AT} = 0,103 \\ \text{după datele autorului} \quad \alpha_{AC} = 0,052 \end{cases} \quad (32)$$

Abaterile valorilor $\alpha_B$ şi $\alpha_A$ de mai sus pot fi evident atribuite influenţei mulţimii celorlalţi factori.

Considerînd că coincidenţa factorilor respectivi este aleatorie, se poate admite o însumare probabilistică a lor. În consecinţă se poate recomanda, pentru practică, folosirea mediilor respective ale coeficienţilor de mai sus, şi anume :

— pentru morişti de bronz :

$$\alpha_B = 0,194 \pm 0,071 \quad (33)$$

— pentru morişti de aluminiu :

$$\alpha_A = 0,077 \pm 0,025 \quad (34)$$

Formula propusă (10), folosită diferenţiat, după caz, cu coeficienţii (33) sau (34), reprezintă relaţia căutată, $\rho = \rho(\rho, \mu)$. Reprezentarea ei grafică este dată în figura 8.

*C.* Examinarea graficului (fig. 8) permite următoarele observaţii interesante :

— Datele experimentale ale autorului au lărgit plaja valorilor corelaţiei $\rho = \rho(\mu)$, în loc să se intercaleze în cea dată în literatură [4].

Într-adevăr, conform datelor din literatură, prelucrate aici, domeniul valorilor $\alpha$ este 0,103 ; 0,265 ; după introducerea datelor autorului, el s-a extins la 0,052 ; 0,265, conform celor prevăzute încă în § 1.

— În interiorul acestui domeniu se conturează însă subdomeniile distincte ale moriştilor de bronz (33) şi de aluminiu. Fiecare din acestea au extincţii mai mici decît cel al coeficientului $\alpha$. S-a realizat deci precizia sporită a cunoaşterii erorii $\rho$, ceea ce forma unul dintre obiectivele cercetării.

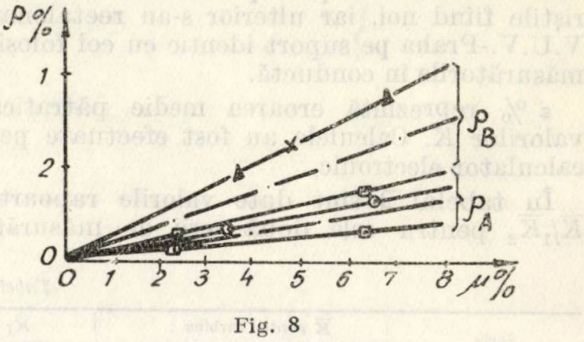


Fig. 8

— Este de remarcat faptul că domeniile (33) şi (34) nu se încalecă. Acest fapt are o interpretare ce merită o atenţie specială, şi anume : influenţa greutăţii rotorului moriştilor are o pondere mai mare în stabilirea valorii numerice erorii $\rho$, decît ancombranţa $\mu$. Cu alte cuvinte, dispersia valorilor $\rho$ pentru aceeaşi valoare a factorului $\gamma$ este mai mică decît diferenţa dintre valorile $\rho_B$, respectiv $\rho_A$, ce corespund — la aceeaşi ancombranţă $\mu$ — la două valori diferite a factorului $\gamma$, şi anume $\gamma_B = 8,7$, respectiv $\gamma_A = 2,8$. Enumerînd factorii $\gamma$ şi $\mu$ în ordinea ponderii lor, această observaţie poate fi scoasă în evidenţă prin transcrierea corelaţiei (2) în forma :

$$\rho = \rho(\gamma, \mu) \quad (35)$$

Cu alte cuvinte, $\rho$ ar putea fi considerată ca o eroare produsă în principal de comportarea diferită a moriştilor hidrometrice în curgere tulburentă în raport cu cea din canalul hidrostatic de etalonare, comportare diferenţiată în primul rînd de greutatea rotorului moriştii şi abia în al doilea rînd de influenţa suportului fizic al moriştilor, respectiv de ancombranţa $\mu$

Această observaţie explică şi faptul că diferenţa dintre erorile $\rho S$ ale lui Böhm—Raffay şi Chaix (bronz) şi cele ale lui Tonini (aluminiu) este mai mare decît însăşi eroarea $\rho$ dată de aceasta din urmă (fig. 1).

Evident, în acest caz (1) nu mai este o funcţie ce trece prin origine ca în figurile 1 şi 8, ea nu este necesar să fie nici măcar o funcţie liniară.

Caracterul de funcţie liniară al funcţiei (1) este numai admis de către toţi autorii, începînd cu Böhm—Raffay şi Chaix şi la sugestia lor (fig. 2, extrasă din [3]).

Nici unul dintre autori nu a avut însă la dispoziţie mai mult de două puncte experimentale obţinute în aceleaşi condiţii, cu excepţia factorului $\mu$. Or, prin două puncte se pot duce

practic orice curbe, deci şi o curbă (fig. 9) de tipul

$$\rho = \rho_\gamma + \rho_\mu(\mu) \qquad (36)$$

care ar reprezenta fenomenul conform consideraţiilor de mai sus.

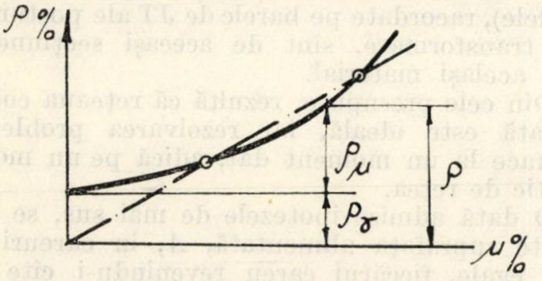



Fig. 9

$\rho_\gamma$ fiind o constantă, iar $\rho_\mu(\mu)$ o curbă de alură stabilită fie experimental, printr-un număr corespunzător de puncte, fie prin analogie cu alte fenomene decît curgerea printr-o reţea de profile, de exemplu, prin analogie cu curba caracteristică a unui organ de închidere a conductelor.

Pînă cînd dezvoltarea viitoare a tehnicii ar putea face, poate, rentabilă o cercetare complexă de nivelul unei asemenea fineţi a problemei, considerăm că ipoteza liniarităţii (10) a corelaţiei (1) reprezintă în mod mulţumitor fenomenul cercetat. Datele numerice din tabelul 3 susţin această afirmaţie.

În tabelul 3 sînt date — pentru două valori oarecum extreme ale ancombranţei $\mu$ — valoarea erorii debitului $\rho$ % şi a abaterii respective $\Delta\rho$ % — în procente de debit corespunzătoare valorilor (33) şi (34) propuse pentru $\alpha_B$ şi $\alpha_A$.

Datele din tabelul 3, care include toate realizările cunoscute autorului, din literatură şi

*Tabelul 3*

| Materialul moriştilor | $\alpha \pm \Delta\alpha$ | $\rho \pm \Delta\rho$ % | |
|---|---|---|---|
| | | 3 % | 6 % |
| Bronz | 0,193±0,071 | 0,58±0,21 | 1,16+0,42 |
| Aluminiu | 0,077±0,025 | 0,23+0,07 | 0,42±0,14 |

din cercetări proprii, confirmă concluzia lui Tonini dacă ea se referă la morişti de aluminiu : „... în cazul în care ancombranţa produsă de instalaţia de măsură rămîne în limite normale, eroarea produsă de aceasta asupra debitului intră în toleranţa admisă a măsurătorii".

Pentru morişti de bronz eroarea $\rho$ este prea mare pentru a nu reclama o corecţie conform formulei (16), corecţie care, evident, este de luat în considerare şi pentru morişti de aluminiu.

**Concluzii**

Formula (10) şi coeficientul $\alpha$, propuse în acest articol, permit o exprimare mai uşor de mînuit, decît cea grafică, a corelaţiei (1).

Din mulţimea factorilor ce produc abateri aleatorii faţă de corelaţia stabilită experimental (10), greutatea rotorului moriştii hidrometrice se desprinde cu o pondere mai mare, permiţînd stabilirea unor coeficienţi distincţi : pentru bronz $\alpha_B$ şi pentru aluminiu $\alpha_A$. Valorile acestora, (14) şi (15), împreună cu formula (10) reprezintă o corelaţie cu două variabile de tipul (2), respectiv (35).

Prelucrarea tuturor datelor experimentale la dispoziţia autorului — din literatură şi din cercetări experimentale proprii — pune în evidenţă faptul că ponderea greutăţii rotorului în stabilirea valorii numerice a erorii $\rho$ este mai mare decît cea a ancombranţei $\mu$, considerată pînă în prezent drept cauză principală a erorii $\rho$.

Datele experimentale existente sînt insuficiente pentru a permite înlocuirea relaţiei de forma (10), admisă implicit de toţi autorii, cu una de forma (36), care expliciteazā rolul celor doi factori şi care ar pune în evidenţă caracterul global al erorii $\rho$, atribuită ansamblului suport-morişti, nu numai ancombranţei $\mu$. Acest rol îl are însă şi relaţia de tipul (2) propusă aici (10) + (14) + (15).

Pentru moment, o asemenea adîncire a problemei nu pare a fi justificată tehnico-economic, deşi ea nu este exclusă pentru viitor.

Cercetările lui Villa [5] şi Zimmerli [6] şi comentariile lui Tonini [4], care au sugerat autorului idei ce au prilejuit elaborarea concluziilor de mai sus, considerăm că vor trebui luate în consideraţie în legătură cu toate aplicaţiile moriştilor hidrometrice etalonate în canale hidrostatice, dar folosite, de obicei, în curgere tulburentă.

**Bibliografie**


[1] *Code international concernant les essais de reception sur place des turbines hydrauliques.* CEI No. 41, 1963.

[2] Wintermitz, F. A. L. Mc Donald, L.M. *Displacement Effects in Penstock Flow Measurement of Current Meters.* ICMG, Raport nr. 4, Aprilie 1961.

[3] Böhm, H. — Raffay, Chaix, B. *Untersuchungen zum Verdrängungseffekt bei Flügelmessungen in Rohrleitungen.* ICMG, Report nr. 12, Mars 1962.

[4] Tonini, M. *L'effetto supporto nelle misure di portata in condotta con piu molinelli.* L'Energia Elettrica, nr. 4, 1966.

[5] Villa, L. *Mesures des débits par la méthode des moulinets au point de vue industriel.* ICMG, sept. 1963.

[6] Zimmerli, M. *Vergleichung mit vier verschiedenen Flügeltypen.* ICMG, sept. 1965.

[7] Cosma, Gh. *La méthode des essais relatifs.* L'Energia Elettrica nr. 8, 1968.


**(Articol intrat în redacţie la 6 ianuarie 1971)**

# Alimentarea rețelelor urbane buclate complex de joasă tensiune

Ing. A. Buta*)

Rețeaua de joasă tensiune, comună tuturor sistemelor de distribuție publică, este întîlnită în toate orașele lumii avînd structuri diverse: radială, inelară, buclată sau buclată complex. Cea mai avantajoasă schemă, sub aspectele tehnic și economic, este cea buclată complex, ale cărei cabluri sînt legate în toate modurile posibile și asigură distribuirea unor puteri de zeci sau chiar sute de MVA [1], [2].

Alimentarea rețelelor buclate complex de joasă tensiune (JT) se face prin posturi de transformare racordate la barele rețelei de medie tensiune (MT).

În legătură cu aceste posturi, printre alte probleme principale se pun și cele referitoare la:

— stabilirea puterii nominale a unui post de transformare;

— stabilirea numărului de linii de MT necesare alimentării posturilor;

— stabilirea modului de legare a posturilor la rețeaua de MT, astfel încît alimentarea consumatorilor, precum și funcționarea rețelei să decurgă în cele mai bune condiții tehnico-economice pe întreaga perioadă considerată.

Literatura de specialitate indică diverse relații și metode pentru soluționarea problemelor menționate [1] ... [8], fiecare plecînd de la anumite ipoteze simplificatoare și avînd la bază unele aspecte tehnico-economice.

Lucrarea de față are scopul de a contribui la studiul și proiectarea rețelelor de JT, oferind pentru rezolvarea problemelor propuse alte posibilități decît cele existente. Relațiile stabilite sînt simple, ușor de folosit, exactitatea lor fiind suficientă într-o primă etapă a proiectării.

## Stabilirea puterii nominale a unui post de transformare de MT/JT

Pentru a stabili expresia puterii nominale a unui post de transformare se fac unele ipoteze simplificatoare unanim admise în literatură, ca, de exemplu, în [1], [2], [5], [6]. Astfel, se consideră că:

— densitatea de suprafață a sarcinii $D$ (MVA/km$^2$) este aceeași pe toată suprafața alimentată de rețeaua buclată complex de JT;

— densitatea liniară a sarcinii $d$ (MVA/km) este aceeași de-a lungul liniillor de JT;

— puterea nominală a posturilor de transformare ce alimentează rețeaua buclată complex este aceeași, $S_n$;

— sarcina rețelei de JT este activă, $S = P$, și constantă în timp;

— liniile de distribuție principale (magistralele), racordate pe barele de JT ale posturilor de transformare, sînt de aceeași secțiune și din același material.

Din cele presupuse, rezultă că rețeaua considerată este ideală, iar rezolvarea problemei se face la un moment dat, adică pe un model static de rețea.

O dată admise ipotezele de mai sus, se împarte suprafața alimentată, $A$, în careuri de arii egale, fiecărui careu revenindu-i cîte un post de transformare MT/JT așezat în centrul suprafeței. Dacă $n$ este numărul de careuri, sarcina ce revine unui post de transformare este $\frac{P}{n}$, iar aria unui careu $\frac{A}{n}$.

Avîndu-se în vedere configurația rețelei buclate complex, pentu fiecare careu se admite [1] o repartizare a sarcinii ca cea prezentată în figura 1, adică de la fiecare post de transformare pleacă patru linii magistrale de JT ce alimentează cu energie electrică sarcinile elementare $p$, situate la mijlocul laturilor unor careuri delimitate de cele patru magistrale și laturile careurilor inițiale.

Pe baza acestei configurații și a ipotezelor admise, urmîndu-se un raționament simplu, rezultă că valoarea sarcinii elementare depinde de poziția careului de arie $\frac{A}{n}$.

Astfel, pentru un careu ce se învecinează cu alte două careuri $p = \frac{1}{10} \frac{P}{n}$, dacă careul

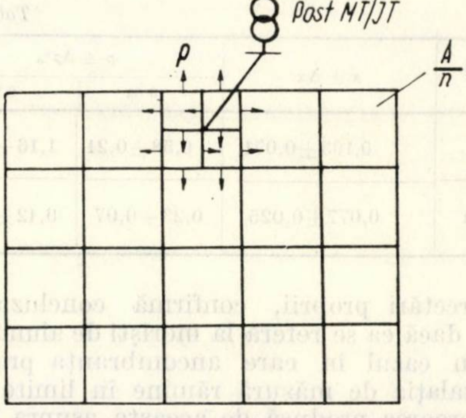



Fig. 1. Rețea buclată complex de JT.

se învecinează cu alte trei careuri $p = \frac{1}{9} \frac{P}{n}$ și, în fine, cînd careul este învecinat de alte patru, $p = \frac{1}{8} \frac{P}{n}$.

*) Ing. Adrian Buta este asistent la Institutul politehnic Timișoara, Facultatea de electrotehnică, Catedra de măsuri și centrale electrice.

Stabilirea puterii nominale a unui post de transformare de MT/JT se va face astfel, încît la funcţionarea în sarcină a acestuia pierderea de tensiune maximă din reţeaua de JT, $\Delta U_{max}$, să fie mai mică sau cel mult egală cu pierderea de tensiune admisă, $\Delta U_{adm}$, iar cheltuielile anuale, $C$, în reţeaua de JT (trafo şi linii) să fie minime.

Urmărind configuraţia reţelei de JT, rezultă că pierderea de tensiune maximă apare în cazul unui careu marginal, înconjurat de alte trei careuri, la sarcina nominală a postului şi are expresia:

$$\Delta U_{max} \simeq \Sigma \frac{P_i R_i}{U} = \frac{\rho l}{4\,Us}(3p + 2p + p) = \frac{6\rho pl}{4Us} \quad (1)$$

în care

$P_i$ este puterea vehiculată pe tronsonul $i$ al magistralei, la sarcina nominală a postului;

$R_i$ — rezistenţa tronsonului $i$ al magistralei;

$l$ — latura unui careu de arie $\frac{A}{n}$;

$s$ — secţiunea magistralei;

$\rho$ — rezistivitatea materialului conductor;

$U$ — tensiunea nominală a reţelei buclate complex de JT.

În expresia lui $\Delta U_{max}$, se poate elimina necunoscuta $l$, dacă se face substituţia

$$l = \sqrt{\frac{A}{n}} = \sqrt{\frac{P}{n\,D}} \quad (2)$$

astfel că relaţia (1) devine

$$\Delta U_{max.} = \frac{6\rho p}{4Us}\sqrt{\frac{P}{nD}} \quad (3)$$

sau, avîndu-se în vedere valoarea lui $p$,

$$\Delta U_{max.} = \frac{\rho}{6\;Us}\left(\frac{P}{n}\right)^{3/2}\frac{l}{D^{1/2}} \quad (4)$$

Dar

$$\frac{P}{n} = \frac{S}{n} = S_n \quad (5)$$

reprezintă puterea nominală a unui post de transformare de MT/JT. Prin urmare, ţinînd cont de relaţia (5), expresia lui $\Delta U_{max.}$ devine

$$\Delta U_{max} = \frac{\rho\, S_n^{3/2}}{6\,Us\,D^{1/2}} \quad (6)$$

Pentru $\Delta U_{max} \leqslant \Delta U_{adm}$, la limită rezultă din relaţia (6) expresia

$$S_n = \sqrt[3]{\frac{36\;U^2\,\Delta U_{adm}^2\,s^2\,D}{\rho^2}} \quad (7)$$

sau

$$S_n = 0{,}1U\sqrt[3]{\frac{3{,}6\;U\,(\Delta U_{adm}\,\%)^2\,s^2 D}{\rho^2}} \quad (8)$$

La această relaţie se mai adaugă şi relaţia corespunzătoare cheltuielilor anuale minime

$$C = C_t + C_r + C_{pr} \quad (9)$$

în care

$C_t$ reprezintă cheltuielile anuale ale posturilor de transformare de MT/JT;

$C_r$ — cheltuielile anuale ale reţelei de JT;

$C_{pr}$ — costul pierderilor de energie în reţeaua de JT.

Dacă se are în vedere că

$$C_t = (c_1 + c_2\,S_n)\frac{a}{100}n \quad (10)$$

$$C_r = (c_3 + c_4\,s)\frac{b}{100}L \quad (11)$$

$$C_{pr} = c_5\,\Delta_{pr}\,\tau \quad (12)$$

în care

$c_1$ este partea din cheltuielile anuale ale unui post de transformare ce nu depind de puterea transformatorului;

$c_2$ — partea din cheltuielile anuale ale unui post de transformare ce depind de puterea transformatorului;

$a$ — cota de amortizare, reparaţie şi deservire a postului de transformare, %;

$c_3$ — partea din cheltuielile anuale ale reţelei de JT, pe km, ce nu depind de secţiunea conductoarelor (magistralelor) reţelei;

$c_4$ — partea din cheltuielile anuale ale reţelei de JT, pe km, ce depind de secţiunea conductoarelor reţelei;

$b$ — cota de amortizare, reparaţie şi deservire a unui km de reţea de JT;

$L$ — lungimea totală a reţelei de JT;

$c_5$ — costul pierderilor de energie;

$\Delta_{pr}$ — pierderile de putere în reţeaua de JT;

$\tau$ — timpul anual de pierderi.

$n$, $L$, $\Delta_{pr}$ din relaţiile (10), (11), (12) se pot exprima astfel:

$$n = \frac{S}{S_n} = \frac{DA}{S_n} \quad (13)$$

$$L = 2\,(2n + \sqrt{n})\sqrt{\frac{S_n}{D}} = 4A\sqrt{\frac{D}{S_n}} + 2A \quad (14)$$

$$\Delta_{pr} = \frac{14}{U^2}\sqrt{\frac{S_n}{D}}\,S_n^2\,\frac{\rho}{s}\left[\frac{(\sqrt{n}-2)^2}{64} + \frac{4(\sqrt{n}-2)}{81} + \frac{1}{25}\right] = \frac{0{,}14}{U^2}S_n^2\sqrt{\frac{S_n}{D}}\,\frac{\rho}{s}\left(1{,}56\,\frac{DA}{S_n} + 1{,}31\sqrt{\frac{DA}{S_n}} + 0{,}37\right) \quad (15)$$

Cu acestea, $C$ din relația (9) devine

$$C = C\,(D, A, S_n, U, s, \rho) \qquad (16)$$

In faza de proiectare a rețelei buclate complex de JT, se cunosc: tensiunea nominală, pierderea de tensiune admisă impusă de consumatori, densitatea de suprafață a sarcinii și suprafața ce urmează să fie deservită de rețea. Rezolvînd sistemul constituit de relațiile (7) și (16), rezultă $S_n$ și $s$ optimi.

Calculul valorilor optime pentru $S_n$ și $s$ este îngreunat nu atît de forma neliniară a sistemului de ecuații, cît de necunoașterea precisă a valorilor coeficienților $c_1 \ldots c_5$.

Pe de altă parte, $\Delta U_{adm}$ nu este singurul considerent tehnic ce condiționează mărimea lui $s$; în afară de el mai sînt și altele: curentul de scurtcircuit monofazat de JT minim, $I_{sc \cdot monof.\, min}$, stabilitatea termică de durată, stabilitatea termică de scurtcircuit, flicker.

$U_{adm.}$ și $I_{sc.\, monof.}$ nu sînt independente. În [3] se arată că pentru $\Delta U_{adm.} \leqslant 5\%$, condiția de $I_{sc.\, monof.\, min.}$ este asigurată.

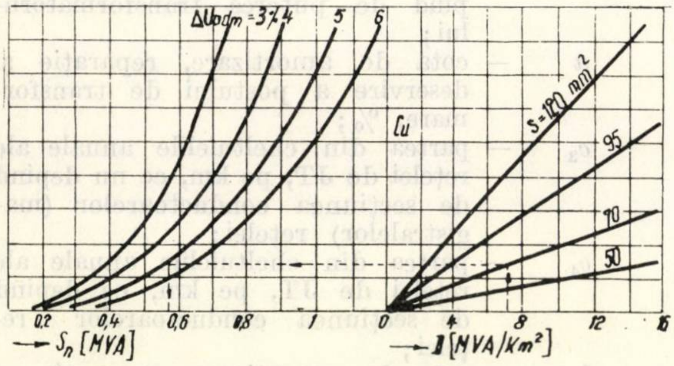



Fig. 2. Variația lui $S_n$ în funcție de $D$, $s$ și $\Delta U_{adm.}$ pentru linii magistrale din Al (OL—Al).

În ceea ce privește stabilitatea termică secțiunea rezultată prin calcul urmează să fie verificată în ambele cazuri.

Pentru rețelele noastre urbane nu este necesară verificarea la flicker, consumatorii industriali avînd în mod obișnuit rețeaua lor proprie.

Problema devine și mai complexă dacă se are în vedere modificarea în timp a consumului rețelei de JT. Ea poate fi soluționată folosind programarea dinamică, această problemă constituind obiectul unei lucrări viitoare.

Dacă rețeaua buclată de JT este realizată, folosind relația (8) se poate aprecia, la un moment dat, dacă alimentarea consumatorilor este sau nu cea optimă.

Pentru $U = 380$ V și conductoare din Al sau Cu, relația (8) se prezintă sub formă de nomogramă ca în figurile 2 și, respectiv, 3.

Aceste nomograme permit determinarea rapidă a uneia dintre cele patru variabile ($S_n$, $\Delta U_{adm}\%$, $s$, $D$) cînd se cunosc valorile celorlalte trei.

În cazul secțiunilor des întîlnite la rețelele buclate complex de JT, 70 și 95 mm² Al, sau 50 mm² Cu și densități cuprinse între 5 și

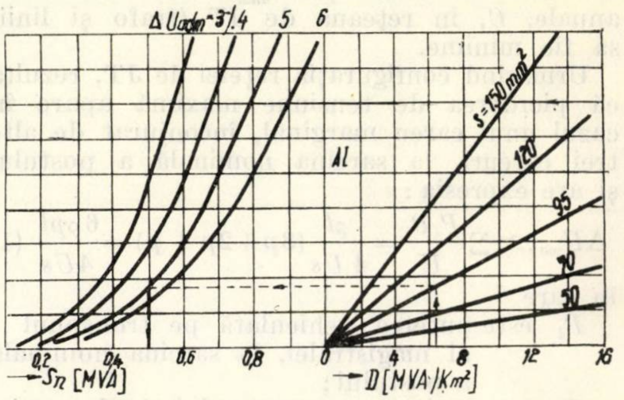



Fig. 3. Variația lui $S_n$, în funcție de $D$, $s$ și $\Delta U_{adm.}$ pentru linii magistrale din Cu.

15 MVA/km², puterea nominală a posturilor de MT/JT variază între 380 și 660 kVA, valori apropiate de cele stabilite în urma unor calcule tehnico-economice [2], sau din practica exploatării [4], [5], [7].

### Stabilirea numărului de linii necesare alimentării posturilor de transformare de MT/JT

Rețeaua orășănească de MT ce asigură alimentarea posturilor de transformare de MT/JT (fig. 4) prezintă de obicei o configurație buclată pe un punct de alimentare, sau între două puncte și funcționare radială [2], [4].

Numărul liniilor de MT depinde de sarcina transformatoarelor, iar stabilirea lui se realizează considerîndu-se avariile ce pot apărea în funcționarea rețelei.

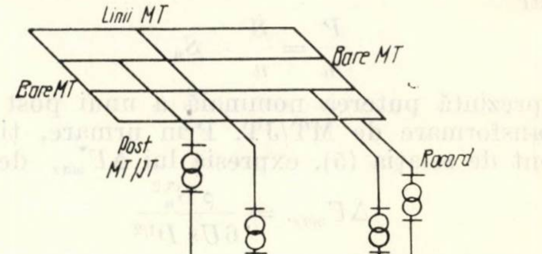



Fig. 4. Alimentarea rețelei buclate de JT din rețeaua de MT.

În cele ce urmează se va determina o relație ce exprimă numărul $N$ al liniilor de MT, în funcție de sarcina postului și de suprasarcina la avarie, pe care o poate admite acesta, astfel

încît la ieşirea din funcţiune a unei linii de MT puterea livrată reţelei de JT să fie egală cu cea din regimul normal de funcţionare.

Pentru aceasta se admit următoarele ipoteze simplificatoare :

— puterea nominală a posturilor de transformare este aceeaşi pentru întreaga reţea de JT ;

— curba de sarcină pentru fiecare post de transformare este aceeaşi şi invariabilă în timp ;

— suprasarcina la avarie este preluată uniform de toate posturile de transformare.

În regim normal de funcţionare, puterea livrată reţelei este

$$S = \alpha S_n n \tag{17}$$

în care $\alpha$ este coeficientul de sarcină al postului de transformare.

Dacă $k$ este numărul posturilor de transformare racordate pe o linie de MT, la ieşirea din funcţiune a unei linii se poate scrie că

$$S = (1 + \beta) S_n (n - k) \tag{18}$$

în care $\beta$ este suprasarcina la avarie pe care o poate suporta postul de transformare, valoarea ei depinzînd de cea a lui $\alpha$ [9].

Din egalitatea relaţiilor (17) cu (18) rezultă pentru $k$ expresia

$$k = n\left(1 - \frac{\alpha}{1 + \beta}\right) \tag{19}$$

iar

$$N = \frac{n}{k} = \frac{1}{1 - \dfrac{\alpha}{1 + \beta}} \tag{20}$$

Prin urmare, numărul liniilor de alimentare nu depinde explicit de puterea nominală a posturilor de transformare şi nici de numărul acestora, ci de sarcina postului de transformare.

Cu cît sarcina postului este mai mică, suprasarcina la avarie creşte, iar numărul liniilor necesare alimentării scade, şi invers.

Pentru $\alpha$ cuprins între 0,5 şi 1 şi $\beta = 0{,}1$ ; 0,2 ; 0,3, variaţia lui $N$ se prezintă ca în figura 5.

Din analiza diagramelor din figura 5 se constată că pentru încărcări cuprinse între 0,5 şi 0,8, dependent de suprasarcina admisă, rezultă 2 — 4 linii, iar pentru încărcări de 0,8 — 1 rezultă 4 — 11 linii.

Practic, dacă numărul de transformatoare este redus, rezerva cu care acestea vor funcţiona va fi mare, iar numărul de linii adoptate mic, şi invers.

De exemplu, dacă $n = 25$, se poate afirma că numărul de transformatoare este mare şi, admiţînd $\alpha = 0{,}9$ şi $\beta = 1{,}2$, rezultă $N = 5$.

Dacă legarea posturilor de transformare este astfel realizată, încît nu se poate admite o preluare uniformă a suprasarcinii, numărul liniilor de MT folosite pentru alimentare trebuie mărit.

## Legarea optimă a posturilor de transformare de MT/JT la reţeaua de MT

Pentru a reduce pe cît posibil numărul liniilor de MT folosite pentru alimentarea postu-

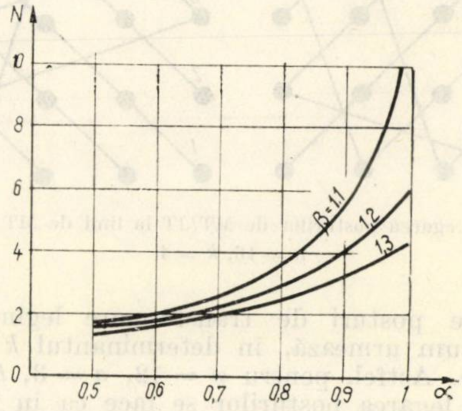



Fig. 5. Variaţia lui $N$ în funcţie de $\alpha$ şi $\beta$.

rilor de transformare, este de dorit ca la ieşirea din funcţiune a uneia din linii suprasarcina să fie preluată cît mai uniform de posturile rămase în funcţiune. Aceasta este posibilă dacă se asigură o împletire foarte strînsă a liniilor de alimentare, astfel încît să se realizeze o colaborare cît mai bună între ele [1].

Problema propusă poate fi rezolvată cu ajutorul structurii determinanţilor.

Fie un determinant cu $n$ elemente, avînd ordinul $k = \sqrt{n}$. Să se stabilească modul distinct de aşezare a $k$ elemente egale cu 0, celelalte fiind 1, astfel încît orice coloană a determinantului să conţină un singur 0, iar valoarea determinantului să fie diferită de 0.

Vor rezulta, de exemplu, pentru $k^2 = n = 16$, următoarele posibilităţi :

$$\begin{vmatrix} 0&1&1&1\\ 1&0&1&1\\ 1&1&0&1\\ 1&1&1&0 \end{vmatrix}, \quad \begin{vmatrix} 1&0&1&1\\ 1&1&0&1\\ 1&1&1&0\\ 0&1&1&1 \end{vmatrix}, \quad \begin{vmatrix} 1&1&0&1\\ 1&1&1&0\\ 0&1&1&1\\ 1&0&1&1 \end{vmatrix}, \quad \begin{vmatrix} 1&1&1&0\\ 0&1&1&1\\ 1&0&1&1\\ 1&1&0&1 \end{vmatrix}$$

sau :

$$\begin{vmatrix} 1&1&1&0\\ 1&1&0&1\\ 1&0&1&1\\ 0&1&1&1 \end{vmatrix}, \quad \begin{vmatrix} 1&1&0&1\\ 1&0&1&1\\ 0&1&1&1\\ 1&1&1&0 \end{vmatrix}, \quad \begin{vmatrix} 1&0&1&1\\ 0&1&1&1\\ 1&1&1&0\\ 1&1&0&1 \end{vmatrix}, \quad \begin{vmatrix} 0&1&1&1\\ 1&1&1&0\\ 1&1&0&1\\ 1&0&1&1 \end{vmatrix}$$

Soluţii similare se obţin pentru orice $k^2 = n$.

Dacă cele $k$ zerouri sînt posturile de transformare alimentate de linia de MT ieşită din funcţiune, rezultă modul după care se execută legarea posturilor de transformare la liniile de MT (fig. 6).

Pentru $k \neq \sqrt{n}$, soluţionarea problemei se realizează în felul următor: se întocmeşte un tablou $n = a \times b$, $a$ şi $b$ fiind numere întregi naturale de valori cît mai apropiate; dacă $k = a$, $a < b$, legarea posturilor se efectuează în cadrul unui determinant de ordinul $k$,

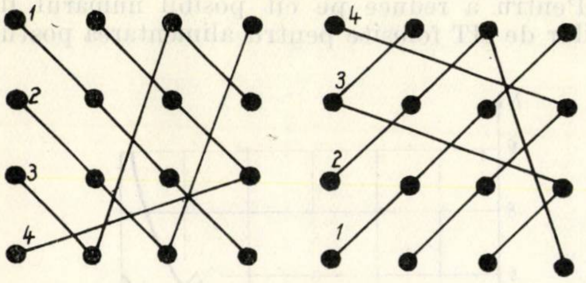



Fig. 6. Legarea posturilor de MT/JT la linii de MT pentru $n = 16$, $k = 4$.

celelalte posturi de transformare legîndu-se, după cum urmează, în determinantul $k$ ce le conţine. Astfel, pentru $n = 12$, $a = 3$, $b = 4$, $k = 3$, legarea posturilor se face ca în figura 7 *a*.

Dacă $k = a$, $a > b$, se completează tabloul cu posturi false pînă cînd se obţine un determinant de ordinul $k$. Astfel, pentru $n = 12$, $a = 4$, $b = 3$, $k = 4$, legarea posturilor se efectuează ca în figura 7 *b*.

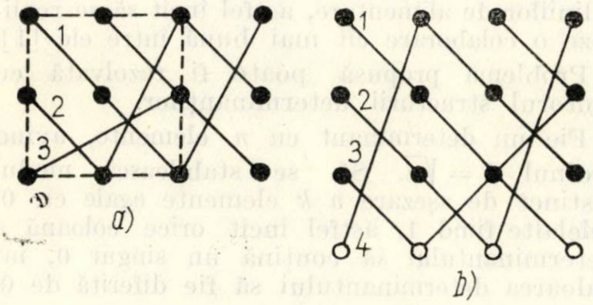



Fig. 7. Legarea posturilor de MT/JT la linii de MT
*a)* $n = 12$, $k = 3$; *b)* $n = 12$, $k = 4$.

Dacă $n$ nu poate fi exprimat ca produsul a două numere naturale apropiate ca valoare, unul din ele fiind egal cu $k$, în această situaţie tabloului format din cele $n$ elemente i se adaugă elemente false pînă cînd $n' = a \times b$. În continuare, se procedează ca mai sus. Astfel, dacă $n = 13$, $k = 3$, lui $n$ i se adaugă două elemente false, astfel încît rezultă $n' = 15$. Se delimitează un determinant de ordinul 3, se realizează legarea, iar apoi se adaugă celelalte elemente, ca în figura 8. În acest caz, două din linii vor alimenta patru posturi, iar cealaltă, cinci.

O dată cu extinderea suprafeţei alimentate creşte şi consumul reţelei buclate de JT, iar locul posturilor false va fi ocupat de posturi reale. Este bine ca la proiectarea reţelelor buclate de JT, la dimensionarea alimentării lor să se ţină cont de aceste posturi false, care într-un viitor apropiat vor deveni posturi reale.

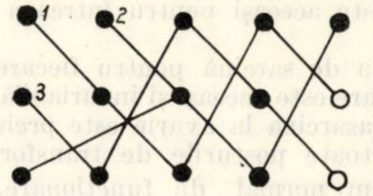



Fig. 8. Legarea posturilor de MT/JT la linii de MT pentru $n = 13$, $k = 3$.

## Concluzii

Soluţiile propuse pentru rezolvarea problemelor considerate completează metodele cunoscute de proiectare şi optimizare a funcţionării reţelelor buclate de JT.

Deşi reţeaua considerată este una ideală, cu sarcina constantă în timp, relaţiile şi metodele propuse pot fi folosite într-o primă etapă de proiectare (sau optimizare) a reţelelor de distribuţie de JT reale.

Reţeaua din figura 1 poate fi considerată ca un model de reţea de distribuţie în general, relaţiile (7) şi (16) rămînînd astfel valabile, oricare ar fi tipul reţelei de distribuţie.

### Bibliografie

[1] A i z e n b e r g, B. L. ş.a. *Reţele electrice urbane*. Editura tehnică, Bucureşti, 1963.

[2] G r i g o r i u, G. şi G r i t s c h, H. *Optimizarea structurii reţelelor orăşeneşti*. Energetica, nr. 2, 1970.

[3] B a c i u, A. şi L a s z l o, T. *Măsurarea curenţilor de scurtcircuit monofazat în reţelele de joasă tensiune*. Producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice şi termice, nr. 7, 1969.

[4] L e b o u l l e u x, I. *Le réseau souterrain à 20 kV de Paris*. R.G.E., nr. 3, 1966.

[5] I u r i c i k, M. *Simulation de l'avenir d'une distribution urbaine d'énergie électrique à moyenne tension — Principe de la méthode d'apparition aléatoire des charges*. R.G.E. nr. 4, 1966.

[6] S a n t i, C. şi T a n c r e d i, M. *Modelli di redi di distribuzione dell'energia elettrica*. Rediconti AEI, nr. 2, 1968.

[7] G a g l i n i a r d o, R. şi L i V i g n i, G. *Alcune notise utilizazionne dei pioni regolatori dei centri urbani per la programmazioni della cabine di distribuzione MT/BT*. Rediconti AEI, nr. 2, 1968.

[8] C o r e c t i, V. ş.a. *Optimized distribution and subtransmission planning by digital computer I: Sistem philosophy*. IEEE Trans. PAS, aprilie, 1964.

[9] B ă d u l e s c u, N. *Linii şi staţii electrice*. Îndrumător, ediţia a III-a. Editura tehnică, Bucureşti, 1967.

**(Articol intrat în redacţie la 1 martie 1971)**

# Folosirea aceluiași întreruptor pentru circuitul de transformator și pentru cupla de ocolire în stațiile cu separatoarele dispuse în linie

Dr. ing. P. Buhuş şi ing. P. Stan*)

Mărirea eficienţei importantelor investiţii făcute în întreruptoarele staţiilor electrice de înaltă şi foarte înaltă tensiune reprezintă o veche preocupare a inginerilor electroenergeticieni. Astfel, în staţiile de 110 kV sau de tensiuni mai mari care sînt echipate cu cîte un întreruptor pe circuit, investiţia în întreruptoare reprezintă circa 30—50% din costul staţiilor respective.

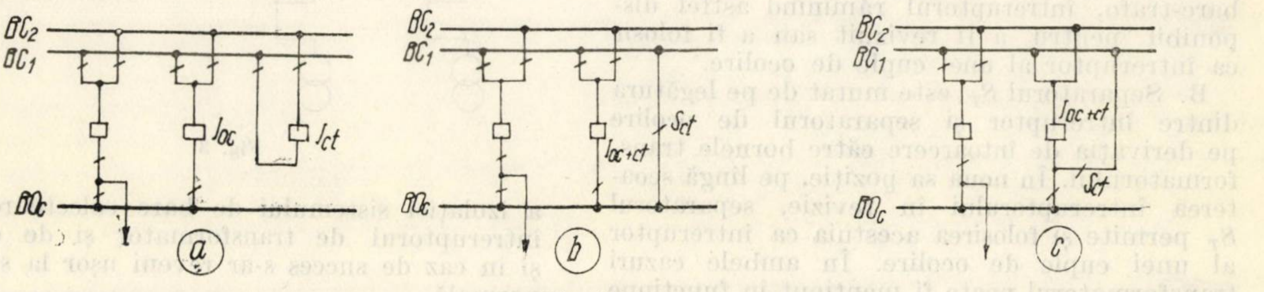



Fig. 1

Rolul principal al întreruptoarelor — funcţia lor de aparate de comutaţie — este însă foarte puţin folosită: cu un întreruptor se efectuează, în medie, cel mult cîteva zeci de manevre pe an. În afara celor cîteva secunde, cît sînt folosite anual pentru comutaţii, întreruptoarele prezintă doar o utilitate potenţială, în sensul că, aflîndu-se intercalate în scheme, se speră că ele vor deconecta în mod selectiv în caz de avarii. Siguranţa lor în funcţionare este însă condiţionată de periodicitatea şi calitatea reviziilor şi a eventualelor lucrări de reparaţii.

Pentru continuitatea funcţionării circuitelor respective şi în intervale de timp cînd se fac lucrări la întreruptoare, dintre soluţiile de ocolire ale acestora [1], în staţiile din ţara noastră sînt preferate schemele cu bare de transfer sau ocolire (fig. 1). Atunci cînd se consideră necesară o elasticitate mai mare se adoptă varianta din figura 1 *a*, cu cîte un întreruptor de cuplă transversală şi unul suplimentar de ocolire.

La staţii care, cel puţin în etapa iniţială, au un număr mic de circuite, reducîndu-se elasticitatea şi, totodată, şi investiţiile, se foloseşte circuitul de cuplă combinată — de ocolire şi transverslă — realizat cu un singur întreruptor.

Adoptîndu-se pentru separatorul $S_{ct}$ o dispoziţie constructivă în linie, de tipul celei propuse în [1], este preferabilă varianta de schemă din figura 1 *c*, care necesită o suprafaţă de teren mai redusă.

În această lucrare se prezintă o soluţie nouă privind folosirea mai elastică şi mai eficientă a întreruptoarelor şi deci a investiţiilor pentru staţiile de înaltă tensiune. În acest sens se propun scheme şi dispoziţii constructive de folosire combinată a unui întreruptor, care în mod normal ar fi intercalat în circuitul de transformator sau autotransformator şi, uneori, în caz de nevoie, ar putea fi folosit şi pentu ocolirea întreruptoarelor celorlalte circuite din staţie.

**Aplicarea soluţiei propuse la scheme cu unul sau două sisteme de bare colectoare**

În figura 2 este prezentată schema de legături propusă pentru o staţie coborîtoare, cu un singur sistem de bare colectoare şi bară

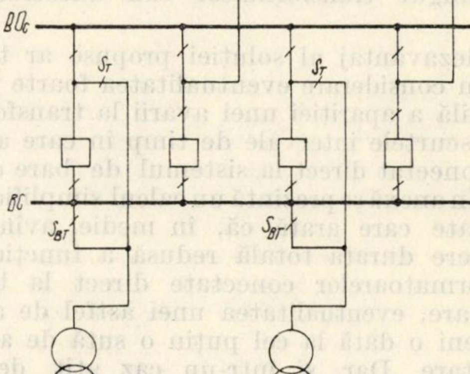



Fig. 2

de ocolire. S-a luat în considerare cazul a două transformatoare sau autotransformatoare — dintre care, într-o primă etapă, poate fi prevăzut numai unul — şi două linii realizate în mod special pentru alimentarea acestei staţii

*) Dr. ing. Pavel Buhuş este conferenţiar la Institutul politehnic Bucureşti; ing. Petre Stan este director adjunct direcţia tehnică din M.E.E.

sau, eventual, obţinute prin secţionarea unei linii existente.

Concepută pentru o dispoziţie constructivă de tip exterior cu separatoarele de bare şi ieşire aşezate în semitandem şi cu toate întreruptoarele pe un singur rînd, reprezentarea s-a făcut sub forma unei scheme de umplere.

Faţă de schema şi dispoziţia constructivă clasică, la circuitele transformatoarelor se pot observa două diferenţe :

A. Se prevede un separator de bare suplimentar $S_{BT}$ pentu racordarea directă a transformatorului la sistemul de bare colectoare. În acest mod se creează posibilitatea ca în scurte intervale de timp să se funcţioneze cu schema bare-trafo, întreruptorul rămînînd astfel disponibil pentru a fi revizuit sau a fi folosit ca întreruptor al unei cuple de ocolire.

B. Separatorul $S_T$ este mutat de pe legătura dintre întreruptor şi separatorul de ocolire pe derivaţia de întoarcere către bornele transformatorului. În noua sa poziţie, pe lîngă scoaterea întreruptorului în revizie, separatorul $S_T$ permite şi folosirea acestuia ca întreruptor al unei cuple de ocolire. În ambele cazuri transformatorul poate fi menţinut în funcţiune prin conectarea sa la bara colectoare cu separatorul $S_{BT}$.

Manevrele care ar trebui efectuate pentru trecerea întreruptorului din circuitul transformatorului în cel de cuplă de ocolire sînt foarte simple, reducîndu-se la acţionarea într-o succesiune corectă a separatoarelor $S_{BT}$ şi $S_T$.

În esenţă, prin prevederea în plus numai a celor două separatoare $S_T$, soluţia propusă permite să se renunţe la echiparea staţiei cu o celulă suplimentară de cuplă de transfer, ceea ce conduce la o reducere a investiţiilor cu aproape 25% în cazul prevederii a două transformatoare şi cu peste 30% în cazul instalării unui singur transformator sau autotransformator.

Ca dezavantaj al soluţiei propuse ar trebui luată în considerare eventualitatea foarte puţin probabilă a apariţiei unei avarii la transformator în scurtele intervale de timp în care acesta ar fi conectat direct la sistemul de bare colectoare. În anexă se prezintă un calcul simplificat de fiabilitate care arată că, în medie, avîndu-se în vedere durata totală redusă a funcţionării transformatoarelor conectate direct la barele colectoare, eventualitatea unei astfel de avarii ar reveni o dată la cel puţin o sută de ani de exploatare. Dar, şi într-un caz atît de rar, un personal de exploatare instruit corespunzător, după deschiderea separatorului $S_{BT}$, ar putea apoi realimenta foarte repede cel de-al doilea transformator.

Dacă pentru sistemul electroenergetic primează continuitatea legăturii dintre cele două linii, schema propusă oferă avantajul că această legătură ar putea fi asigurată operativ prin bare de ocolire chiar şi în cazul unei avarii la sistemul de bare colectoare sau la unul dintre separatoarele de bară. În lipsa unor deteriorări vizibile, ulterior s-ar putea face o verificare

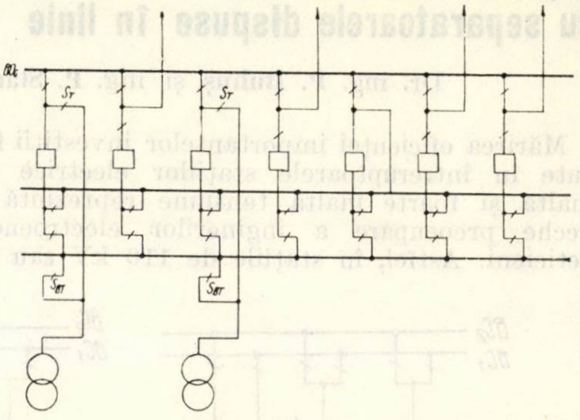


Fig. 3

a izolaţiei sistemului de bare colectoare prin întreruptorul de transformator şi de ocolire şi în caz de succes s-ar reveni uşor la schema normală.

Pentru asigurarea continuităţii în alimentarea consumatorilor staţiei în timpul reviziilor la barele colectoare şi separatoarele de bare, în cazuri concrete s-ar putea lua în discuţie şi eventualitatea funcţionării bloc-linie trafo prin bara de ocolire şi separatorul $S_T$.

Soluţia propusă poate fi folosită şi la staţii cu două sisteme de bare colectoare şi bară de de ocolire (fig. 3). Cu investiţii minime pentru separatoarele $S_T$, în exploatare rezultă astfel posibilitatea de a se folosi un număr de cuple de ocolire în plus, egal cu numărul de circuite de transformator prevăzute cu separatoarele suplimenatre $S_T$.

Desigur însă că în cazul dispoziţiei constructive corespunzătoare schemei de umplere din figura 3, la un moment dat doar unul dintre întreruptoarele circuitelor de transformator ar putea fi folosit ca întreruptor de ocolire. Această limitare rezultă ca urmare a faptului că separatoarele $S_{BT}$ pentru funcţionarea bare-trafo pot fi racordate numai la sistemul de bare colectoare care pe teren se găseşte mai aproape de transformatoare. Pentru mărirea siguranţei în funcţionarea cu unul dintre transformatoare conectat direct la acest sistem de bare, cel de-al doilea transformator este desigur indicat să fie racordat la celălalt sistem de bare colectoare.

Eficienţa soluţiei propuse mai poate fi mărită dacă se are în vedere schema din figura 1 b. Prin prevederea suplimentară a unui separator $S_{ct}$ de legătură între bara de ocolire şi unul dintre sistemele de bare colectoare, întreruptoarele circuitelor de transformator pot fi folosite şi ca întreruptoare de cuplă transversală.

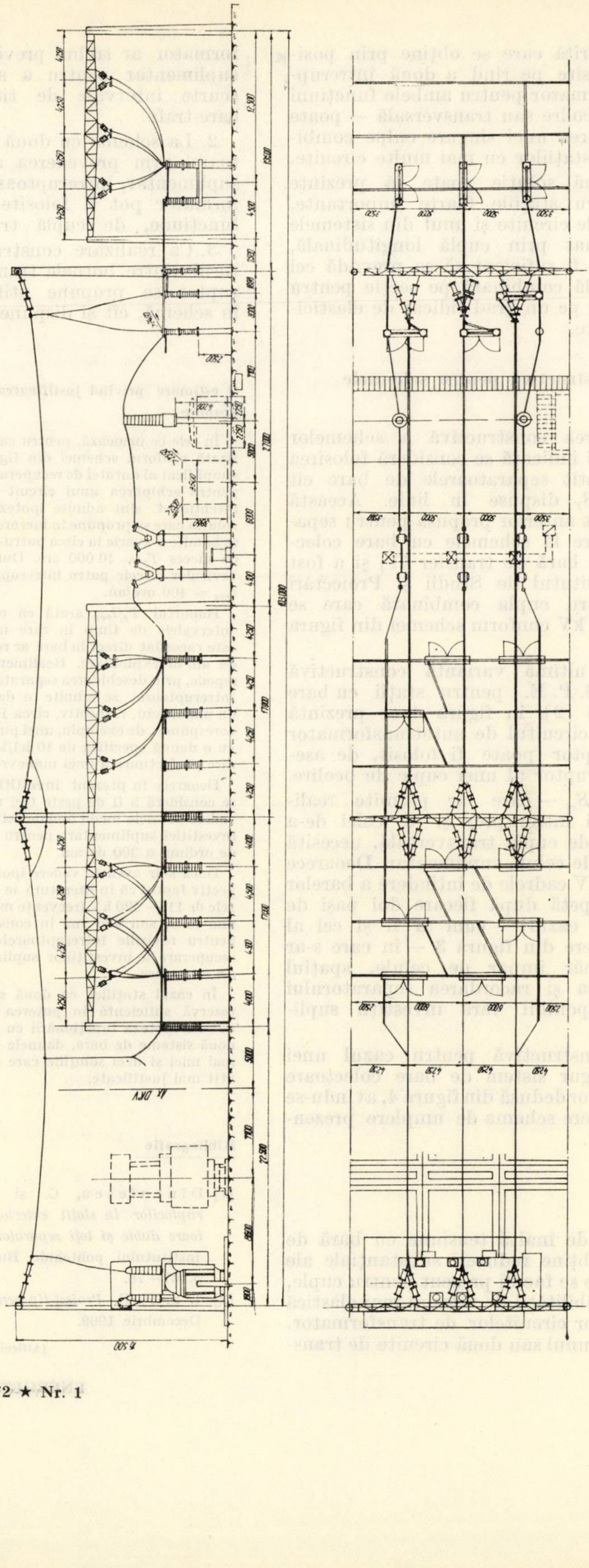


Fig. 4

Elasticitatea mărită care se obține prin posibilitatea de folosire pe rînd a două întreruptoare de transformator pentru ambele funcțiuni de culpă — de ocolire sau transversală — poate justifica prevederea unei singure culpe combinate și în cazul stațiilor cu mai multe circuite.

Această ultimă soluție poate să prezinte interes și pentru stațiile foarte importante, cu număr mare de circuite și unul din sistemele de bare secționat prin cuplă longitudinală, la care astfel ar fi suficient să se prevadă cel mult cîte o cuplă combinată pe secție pentru a se conta totuși pe un grad ridicat de elasticitate în exploatare.

## O dispoziție constructivă pentru schemele propuse

Pentru relizarea constructivă a schemelor propuse, cea mai indicată se consideră folosirea soluției avînd atît separatoarele de bare cît și separatorul $S_T$ dispuse în linie. Această soluție a mai fost anterior propusă pentru separatorul de ocolire la schemele cu bare colectoare duble fără bară de transfer [1] și a fost tipizată de Institutul de Studii și Proiectări Energetice pentru cupla combinată care se realizează la 220 kV conform schemei din figura 1 c.

Utilizîndu-se ultima variantă constructivă tipizată de I. S. P. E. pentru stații cu bare colectoare duble [2], în figura 4 se prezintă adaptarea ei la circuitul de autotransformator al cărui întreruptor poate fi folosit, de asemenea, ca întreruptor al unei cuple de ocolire. Separatorul $S_{ct}$ — care ar permite realizarea cu același întreruptor și a celei de-a treia funcțiuni, de cuplă transversală, necesită în teren un pas de celulă suplimentar. Deoarece la stații de 220 kV cadrele de întindere a barelor colectoare se repetă după fiecare doi pași de celulă, în unele cazuri — cum ar fi și cel al schmei de umplere din figura 3 — în care s-ar echipa un număr impar de celule, spațiul pentru instalarea și racordarea separatorului $S_{ct}$ rezultă disponibil fără investiții suplimentare.

Dispoziția constructivă pentru cazul unei stații cu un singur sistem de bare colectoare poate fi foarte ușor dedusă din figura 4, avîndu-se totodată în vedere schema de umplere prezentată în figura 2.

## Concluzii

1. La stațiile de înaltă tensiune cu bară de ocolire se pot obține reduceri substanțiale ale investițiilor, care se fac în prezent pentru cuple, prin crearea posibilității de folosire mai elastică a întreruptoarelor circuitelor de transformator. În acest scop, la unul sau două circuite de transformator ar trebui prevăzut cîte un separator suplimentar pentru a se putea funcționa în scurte intervale de timp conform schemei bare-trafo.

2. La scheme cu două sisteme de bare colectoare, prin prevederea a încă unui separator suplimentar, întreruptoarele circuitelor de transformator pot fi folosite și pentru o a treia funcțiune, de cuplă transversală.

3. Ca realizare constructivă, pentru separatorul dintre bornele transformatorului și întreruptor se propune atît modificarea poziției în schemă, cît și dispunerea sa cu polii în linie.

## ANEXĂ

### O estimare privind justificarea economică a soluțiilor propuse

În cele ce urmează, pentru cazul unei stații de 220 kV realizată conform schemei din figura 2, se prezintă un calcul simplificat al duratei de recuperare a investițiilor suplimentare pentru echiparea unui circuit de cuplă de ocolire. În mod intenționat, sînt admise ipoteze foarte defavorabile pentru soluția care se propune în lucrare. Pentru autotransformatoare se admite o avarie la circa patru-cinci ani, deci o durată medie de succes $T_s = 40\,000$ ore. Durata medie anuală a tuturor reviziilor la cele patru întreruptoare din stație se consideră $t_{rev} = 400$ ore/an.

Raportul $T_s/t_{rev}$ arată că eventualitatea unei avarii în intervalele de timp în care unul din autotransformatoare este racordat direct la bare ar reveni, în medie, o dată la 100 de ani de exploatare. Realimentarea putîndu-se face foarte repede, prin deschiderea separatorului $S_{BT}$ și închiderea a două întreruptoare, se admite o daună medie totală de ordinul un milion sau, respectiv, circa 10 000 lei/an. Aceasta ar putea corespunde, de exemplu, unei puteri medii nelivrate de 200 MW cu o daună specifică de 10 lei/kWh și un timp mediu de gîndire și efectuare a unei manevre de 10 minute.

Deoarece în prezent investiția pentru un circuit de 220 kV se consideră a fi de peste trei milioane de lei, avîndu-se în vedere daunele medii anuale estimate, durata de recuperare a investiției suplimentare pentru o cuplă de ocolire ar rezulta de ordinul a 300 de ani.

Dacă s-ar avea în vedere ipoteze mai puțin pesimiste, respectiv faptul că în literatură se citează pentru transformatoarele de 110—220 kV frecvențe medii de avarie de circa 4—5 ori mai mici, sau s-ar lua în considerare o durată mai redusă pentru reviziile întreruptoarelor, mărimea termenului de recuperare a investițiilor suplimentare ar rezulta de cîteva ori mai mare.

În cazul stațiilor cu două sisteme de bare colectoare și rezervă suficientă în puterea transformatoarelor, dacă se admite ipoteza funcționării cu circuitele împărțite între cele două sisteme de bare, daunele medii anuale ar rezulta mult mai mici și deci soluțiile care se propun în lucrare ar fi cu atît mai justificate.

### Bibliografie


[1] D i n c u l e s c u, C. și B u h u ș, P. *Ocolirea întreruptorilor în stații exterioare cu sisteme de bare colectoare duble și toți separatorii dispuși în linie.* Buletinul Institutului politehnic București, vol. 27, 1965, nr. 3 p. 67—78.

[2] I. S. P. E. *Proiect-tip pentru stații exterioare de 220 kV.* Decembrie 1969.


(Articol intrat în redacție la 7 aprilie 1971)

# Găsirea soluției optime, la proiectarea unor lucrări energetice, pe graful de sinteză al soluțiilor

Ing. Fr. Mayer*)

Una dintre cele mai importante operații ale proiectării moderne o constituie alegerea soluției optime. În mod obișnuit, selecția soluțiilor se face pe bază de experiență sau intuiție, procedeu expeditiv mai ales în cazul proiectelor care au un număr mare de date inițiale, deci un număr mare de soluții ; se restrînge pe etape domeniul de investigație, se iau în considerare numai soluțiile propuse, considerate a fi apropiate de scopul definit de restricțiile proiectului. Metoda este însă criticabilă, deoarece nu asigură convergența, este lipsită de obiectivitate.

Problema alegerii soluției optime se compune în fond din două subprobleme :

— stabilirea mulțimii soluțiilor [3];

— alegerea celei mai bune soluții.

Prezenta lucrare scoate în evidență, în legătură cu a doua subproblemă, avantajele construirii unui graf de sinteză a soluțiilor mai ales atunci cînd determinarea soluției optime a unui proiect este posibilă cu ajutorul programării dinamice.

## Modul de realizare a grafului de sinteză al soluțiilor

Considerînd că mulțimea soluțiilor unui proiect este stabilită, se cere să găsim soluția optimă pentru un criteriu dat, de pildă costul minim sau consumul de metal (faptul că luăm în considerare un criteriu anumit, nu grevează asupra modului de rezolvare a problemei).

Dacă $A = \{S, X, Y \ldots\ldots W, F\}$

în care

$$x_0 = \{S\}$$
$$x_1 = \{X_1 \ldots X_n\}$$
$$x_2 = \{Y_1 \ldots Y_n\}$$
$$\vdots$$
$$x_{n-1} = \{W_1 \ldots W_n\}$$
$$x_n = \{F\}$$

se poate construi un graf ca în figura 1, astfel :

— este condensat : se elimină toate legăturile care nu influențează tehnologia sau procesul de realizare a soluțiilor, urmărind să obținem elemente care să redea partea esențială a structurii soluțiilor ;

— fiecărui element component al unei soluții îi corespunde un nod ;

— nodurile sînt clasificate (ordonate) pe faze $I, II, \ldots, N$, după structura elementelor componente formînd un sistem ordonat ;

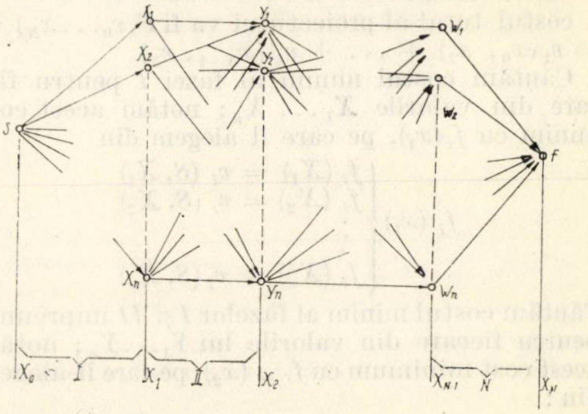


Fig. 1

— din fiecare nod pleacă un număr de arce egal cu numărul de decizii ce pot fi luate, deci nodurile au caracter decizional ;

— fiecare arc este caracterizat printr-o direcție și o capacitate (dată în unități de măsură în raport cu criteriul de optimizare), în cazul de față un cost ;

— graful este finit și fără buclă, satisfăcînd în general relațiile :

$$\Gamma^{-1}(x_0) = \emptyset$$
$$\Gamma(x_0) = x_1$$
$$\Gamma^2(x_0) = \Gamma(x_1) = x_2$$
$$\vdots$$
$$\Gamma^N(x_0) = \Gamma(x_{n-1}) = x_n$$
$$\Gamma(x_n) = \emptyset$$

Această constituție a rețelei are următoarele avantaje :

— dă direct schema soluțiilor ;

— oferă o privire de ansamblu a acestora ;

— simplifică stabilirea legăturii între elementele componente ale soluțiilor ;

— simplifică descrierea soluțiilor, mai ales în cazul unui număr mare de date inițiale ;

— simplifică alegerea sau evaluarea unei anumite soluții ;

— se poate schimba cu ușurință criteriul de discuție și alegerea soluțiilor ;

— oferă posibilitatea tratării secvențiale a problemei, indicînd pașii necesari.

## Tratarea secvențială a problemei

Aplicăm în rețeaua de mai sus teorema lui Bellman : într-un sistem care își poate schimba starea în fiecare fază, $K$ ($K = 0 \ldots N$), printr-o decizie, o politică optimă nu poate fi formată decît din subpolitici optime, adică dintr-un șir de decizii succesive optime.

*) Ing. Francisc Mayer este șef proiect de specialitate la I.S.P.E.

Criteriul de optimizare este costul minim.

Dacă $v_I(x_0, x_1)$ este costul fazei $I$,

$v_{II}(x_1, x_2)$ este costul fazei $II$

$\vdots$

$v_N(x_{N-1}, x_N)$ este costul fazei $N$,

costul total al proiectului va fi $F(x_0 \ldots x_N) = v_1(x_0, x_1) + \ldots + v_n(x_{N-1}, x_N)$.

Căutăm costul minim al fazei $I$ pentru fiecare din valorile $X_1 \ldots X_n$; notăm acest cost minim cu $f_I(x_1)$, pe care îl alegem din

$$f_I(x_1)\begin{cases} f_I(X_1) = v_I(S, X_1) \\ f_I(X_2) = v_I(S, X_2) \\ \vdots \\ f_I(X_n) = v_I(S, X_n) \end{cases}$$

Căutăm costul minim al fazelor $I$ și $II$ împreună, pentru fiecare din valorile lui $Y_1 \ldots Y_n$; notăm acest cost minimum cu $f_{I,II}(x_2)$, pe care îl alegem din:

$$f_{I,II}(x_2)\begin{cases} f_{I,II}(Y_1) = \min.\,[f_I(x_1) + v_{II}(x_1, Y_1)] \\ \quad x_1 = X_1, X_2 \ldots X_n \\ f_{I,II}(Y_2) = \min.\,[f_I(x_1) + v_{II}(x_1, Y_2)] \\ \quad x_1 = X_1, X_2 \ldots X_n \\ \vdots \\ f_{III}(Y_n) = \min.\,[f_I(x_1) + v_{II}(x_1, Y_n)] \\ \quad x_1 = X_1, X_2 \ldots X_n \end{cases}$$

și așa mai departe, pînă la faza $N$.

$$f_{I,II\cdots N-1}(x_{N-1})\begin{cases} f_{I,II\cdots N-1}(W_1) = \\ = min.\,[f_{I,II\cdots N-2}(x_{N-2}) + \\ + v_{N-1}(x_{N-2}, W_1)] \\ x_{N-2} = V_1, V_2 \ldots V_n \\ f_{I,II\cdots N-1}(W_2) = \\ = min.\,[f_{I,II\ldots N-2}(x_{N-2}) + \\ + v_{N-1}(x_{N-2}, W_2)] \\ x_{N-2} = V_1, V_2 \ldots V_n. \\ f_{I,II\ldots N-1}(W_n) = \\ = min.\,[f_{I,II\ldots N-2}(x_{N-2}) + \\ + v_{N-1}(x_{N-2}, W_n)] \\ x_{N-2} = V_1, V_2 \ldots V_n. \end{cases}$$

În fine, urmează ultimul pas: dacă $f$ este minimul lui $F(x_0, x_1 \ldots x_N)$,

$$f = min.\,[f_{I,II\ldots N-1}(x_{N-1}) + v_N(x_{N-1}, F)]$$
$$x_{N-1} = W_1, W_2 \ldots W_n,$$

din care extragem ultima decizie, care, împreună cu precedentele, formează politica optimă, în cazul de față descrisă de drumul de cost minim.

**O aplicație simplă cu privire la alegerea soluției optime pentru sala cazanelor unei centrale electrice**

Să se găsească soluția optimă de proiectare a sălii cazanelor unei centrale electrice (fig. 2), cunoscînd că aceasta se poate realiza din stîlpi glisați $X_g$, metalici $X_m$ sau preturnați $X_p$, ferme metalice $Y_m$ sau precomprimate $Y_p$, folosind pentru organizarea tehnologică un teren apropiat $Z_a$ pentru construcție în cazul stîlpilor glisați, sau un teren $Z_d$ îndepărtat, în celelalte zcauri.

Rețeaua soluțiilor cu elementele componente clasificate pe faze este cea din figura 3.

Pe arce scriem costurile elementelor componente ale soluțiilor.

Aplicînd cele arătate mai sus în acest graf,

$$f_I(x_1)\begin{cases} f_I(X_g) = 1 \\ f_I(X_m) = 2 \\ f_I(X_p) = 3 \end{cases}$$

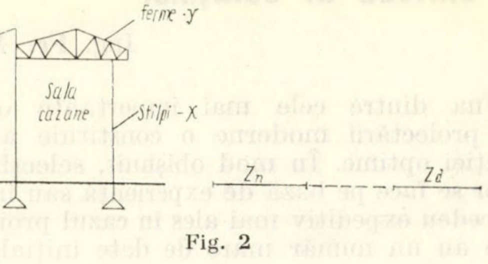



Fig. 2

În această fază drumul minim este 1.

$$f_{I,II}(x_2)\begin{cases} f_{I,II}(Y_{m_1}) = min.\,(1 + 5, 2 + \infty, 3 + \infty) = 6 \\ \quad \text{este minim cu } x_1 = X_g \\ \quad X_1 = x_g, X_m, X_p \\ f_{I,II}(Y_{m_2}) = min.\,(1 + \infty, 2 + 6{,}3 + 5) = 8 \\ \quad \text{este minim cu } x_1 = X_m, X_p \\ \quad X_1 = X_g, X_m, X_p \\ f_{I,II}(Y_p) = min.\,(1 + \infty, 2 + \infty, 3 + 4) = 7 \\ \quad \text{este minim cu } x_1 = X_p \\ \quad x_1 = X_g, X_m, X_p \end{cases}$$

În această fază costul minim este 6.

$$f_{I,II,III}(X_3)\begin{cases} f_{I,II,III}\,Z_a = min.\,(6+2, 8+\infty, 7+\infty) = 8 \\ \quad \text{este minim cu } x_2 = Y_{m_1} \\ \quad x_2 = Y_m, Y_{m_2}, Y_p \\ f_{I,II,III}\,Z_d = min.\,(6+\infty, 8+6, 7+6) = 13 \\ \quad \text{este minim cu } x_2 = Y_p \end{cases}$$

În această fază costul minim este 8.

În fine,

$f_{I,II,III,IV}(x_4) = min.\,(8+0, 13+0) = 8$ este minim cu $x_3 = Z_a$

Deci soluția de cost minim este dată de valorile cele mai mici dintre minimele de mai sus, adică drumul $S$, $X_g$, $Y_m$, $Z_a$, $F$, și are valoarea 8 : stîlpi glisați, ferme metalice, teren pentru organizarea tehnologică în apropiere.

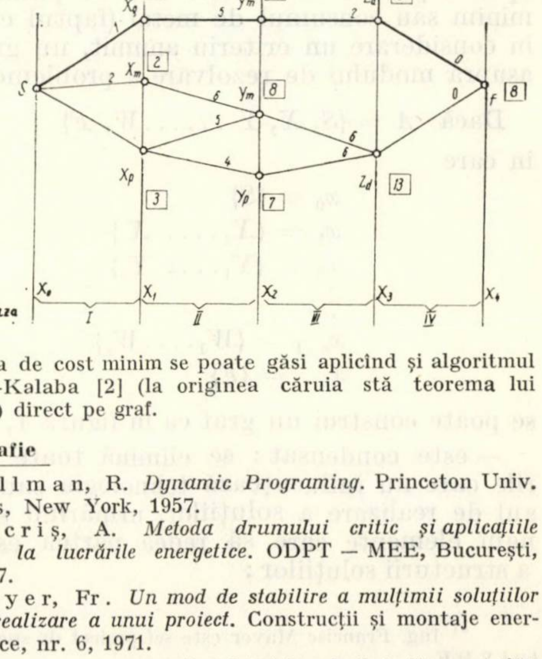



Fig. 3

Soluția de cost minim se poate găsi aplicînd și algoritmul Bellman-Kalaba [2] (la originea căruia stă teorema lui Bellman) direct pe graf.

**Bibliografie**


[1] Bellman, R. *Dynamic Programing.* Princeton Univ. Pres, New York, 1957.

[2] Măcriș, A. *Metoda drumului critic și aplicațiile sale la lucrările energetice.* ODPT — MEE, București, 1967.

[3] Mayer, Fr. *Un mod de stabilire a mulțimii soluțiilor de realizare a unui proiect.* Construcții și montaje energetice, nr. 6, 1971.



(Articol intrat în redacție la 27 august 1971)

# CRONICĂ

## De la Comitetul Național Român al Marilor Baraje

Între 11 și 15 iunie 1973 va avea loc la Madrid cel de-al 11-lea Congres Internațional al Marilor Baraje, organizat sub auspiciile Comisiei Internaționale a Marilor Baraje, cu sediul la Paris. Tematica acestui congres se reflectă în cele patru chestiuni, aprobate de reuniunea executivă, care a avut loc la Dubrovnik în octombrie 1971, și anume :

Chestiunea nr. 40. **Consecințe ale construcției barajelor asupra mediului înconjurător**

a) Efecte fizice; de exemplu : sedimentare, eroziune în aval, modificarea nivelelor și regimului apei subterane, evaporare, modificarea calității apei în rezervor și în aval, seisme și microseisme produse, aspecte.

b) Efecte biologice; de exemplu : pești, eutrofizare, despădurirea retențiilor.

c) Efecte asupra omului ; de exemplu : zgomot, poluarea aerului și apei în timpul construcției, considerații estetice, deplasarea și reinstalarea populației, stabilirea de exploatări pe marginea rezervorului, pericol pentru populația din aval și protecția în caz de accident.

d) Evaluarea efectelor folositoare și dăunătoare construcției unui baraj.

Chestiunea nr. 41. **Controlul debitelor și al disipării energiei în timpul construcției și după punerea în funcțiune**

a) Studiul regimului cursului de apă.

b) Debit de construcție :
— determinarea economică a debitului de construcție ;
— debit pentru calculele evacuatoarelor.

c) Metode de derivație în timpul construcției.

d) Închideri de baraje în estuare.

e) Alegerea tipului de evacuator.

f) Protecția aval, proiectul bazinului de disipare a bazinului de liniștire.

g) Reguli de exploatare.

Chestiunea nr. 42. **Dispozitiv de etanșeitate și protecție a taluzurilor barajelor de pămînt și în anrocamente**

a) Dispozitiv de etanșeitate :
— situație : miez, membrană amonte, influența curburii ;
— materiale : pămînt, beton, amestecuri bituminoase ;
— plasare : metode și materiale ;
— încercări de calitate și experiență practică ; îmbătrînire.

b) Protecția taluzurilor :
— materiale : anrocamente, sol-ciment, procedee diverse ;
— calități obținute.

Chestiunea nr. 43. **Idei noi pentru construcția mai rapidă și mai economică a barajelor din beton**

a) Simplificarea proiectului.

b) Ameliorarea tehnicilor de construcție, referindu-se, de exemplu, la costuri, ridicări, elemente prefabricate, folosirea precomprimării, cofraje glisante.

c) Materiale noi, ca : rășini, beton cu fibre, adaosuri ale cimentului, betoane speciale.

d) Progrese în materialele de șantiere.

Cei interesați să participe cu rapoarte la această importantă manifestare tehnico-științifică sînt rugați ca pînă la 5 ianuarie 1972 să anunțe titlul raportului, numele și funcțiile autorului sau autorilor și să pregătească un scurt rezumat asupra conținutului raportului. Propunerile primite se vor analiza de către Comitetul Național Român, urmînd a se alege 8—10 titluri considerate cele mai interesante și a se comunica autorilor respectivi aprobarea pentru elaborarea raportului, împreună cu instrucțiunile stabilite de Comisia Internațională a Marilor Baraje pentru întocmirea rapoartelor. Predarea rapoartelor se va face pînă la 30 aprilie 1972, într-una din limbile oficiale ale Comisiei — franceza sau engleza — după ce în prealabil un grup de referenți din cadrul Comitetului Național Român își vor fi dat avizul favorabil.

Pentru buna desfășurare a pregătirii rapoartelor și obținerea aprobărilor superioare pentru transmiterea lor, autorii sînt rugați să respecte termenele comunicate.

Toată corespondența se va adresa :

*C.N.I.T. — Comitetul Național Român al Marilor Baraje, Calea Victoriei nr. 118, București. Telefon 14.82.57.*

# Recenzii

PAUL DIMO. **Analiza nodală a sistemelor electroenergetice.** Eyrolle, Paris, 1971, 270 p.

În cursul lunii iunie 1971 a apărut, în Editura Eyrolle, lucrarea dr. ing. Paul Dimo ,,Analiza nodală a sistemelor electroenergetice''. Lucrarea pleacă de la o revizie critică a conceptelor clasice, ceea ce permite autorului să desprindă elementele esenţiale în reprezentarea unui sistem energetic modern. Se propun două concepte figurative noi (desene standardizate), putînd fi obţinute cu ajutorul calculatoarelor numerice, şi anume: o schemă radială denumită ,,REI'' (radială, echivalentă pentru un nod dintr-un sistem complicat modern şi independentă faţă de ceea ce se întîmplă în afara graniţelor sale) şi o diadiagramă compusă dintr-o sumă de vectori, denumită ,,imagine nodală''. Transformările necesare ale sistemului sînt făcute cu ajutorul calculului digital iar schemele rezultate pot fi obţinute direct pe ecranele de vizualizare ale calculatoarelor.

Aceste reprezentări pot figura orice dependenţă între mărimile variabile în regim de reţea şi pot constitui astfel un model simplu şi intuitiv, la dispoziţia cercetătorului sau a specialistului din exploatare.

Pentru un operator avizat, cunoscînd semnificaţia diverselor aspecte pe care le iau figurile, problemele oricărui sistem, oricare ar fi complexitatea lor, sînt aduse la acest model standardizat. Astfel, raţionamentul direct redevine posibil datorită simplităţii modelului, ceea ce uşurează punerea în evidenţă a esenţialului, construirea de ipoteze, sugerarea de idei noi.

Toate problemele sînt reluate pe această nouă bază: caracteristicile structurilor, caracteristicile regimurilor, reglajul, stabilitatea statică, stabilitatea dinamică, probleme de optimizare, formulele pierderilor etc. În toate aceste probleme se obţin aspecte neaşteptate prin simplitatea lor, permiţînd înţelegerea fenomenelor complexe ale sistemelor complicate moderne şi caracterizarea structurilor şi comportării lor.

Cîteva exemple: schema REI dă informaţii supra structurii reale a reţelei; ea indică prin ramurile sale nodurile decisive pentru comportarea unui nod central (sistemul este ,,văzut'' prin acest nod). Imaginile nodale rezultă cu vectori coliniari (o simplă linie dreaptă) pentru regimurile optime din punctul de vedere al stabilităţii şi vectori cu aceeaşi viteză unghiulară ca şi rotoarele maşinilor în regimuri dinamice, toate acestea permiţînd să se deducă cauzele şi remedierile anumitor regimuri instabile, prin simpla verificare a figurilor obţinute.

În ultimul capitol al lucrării, autorul expune posibilităţile unei generalizări a metodei la alte sisteme liniare sau liniarizabile. Schema electrică REI devine ,,graful REI'', avînd aspectul unui graf de fluenţă, imaginea nodală păstrează aspectul reprezentativ al suprapunerii stărilor de echilibru. Autorul prezintă un exemplu de analiză într-o problemă economică.

Lucrarea se adresează în primul rînd cercetătorilor şi inginerilor care lucrează în domeniul reţelelor electrice, al centralelor şi maşinilor electrice, care vor găsi cu ajutorul ei, simplu şi intuitiv, pentru studiile sau deciziile lor, o serie de informaţii utile privind funcţionarea centralelorşi generatoarelor care alimentează un sistem şi comportarea lor în ansamblul fenomenelor posibile într-un sistem modern, precum şi aspecte inedite ale acestor fenomene. Cartea se adresează, de asemenea, cercetătorilor şi specialiştilor în sisteme în general, care vor găsi o sursă de inspiraţie pentru metodele lor, ca şi tuturor celor interesaţi în noile forme ale dialogului ,,om-maşină''.

Cartea poate fi cumpărată şi în ţară, la librăriile ,,Mihail Sadoveanu'' şi ,,Ion Creangă''.

# Informaţii tehnice

Firma Otti Buhwiz din Dresda a asimilat producţia unor celule prefabricate de tip interior de 35 kV cu izolaţie solidă a părţilor conductoare de curent. Tipul acestor celule este ASIF-35/750.

Părţile conductoare ale celulelor sînt izolate cu materiale sintetice peste care se pulverizează un strat metalizat de ecranare cu grosimea de 0,1 mm, care asigură securitatea personalului, în cazul atingerii pieselor izolate, prin asigurarea legării la pămînt a stratului metalizat.

Îmbinările între părţile conductoare dintre celule şi la racordarea aparatelor sînt realizate cu piese speciale, izolate şi închise într-un înveliş metalic care asigură continuitatea între stratele metalizate de pe cele două piese îmbinate.

Volumul unei celule, inclusiv coridoarele de control şi supraveghere necesare, reprezintă 13 % din volumul unei celule de 30 kV de tip zidit, respectiv 28% din volumul celulei prefabricate de tip C IM-30/750, care are izolaţie combinată (solidă şi aer).

Celulele cu simplu sistem de bare sînt debroşabile. Au fost asimilate transformatoare de măsură, capete terminale de cabluri, racorduri izolate în bare şi întreruptoare speciale pentru celule. Întreruptoarele cu corpul tot din material sintetic (răşini turnate) acoperit cu strat metalizat. Căruciorul are gabaritele de 2100 mm înălţime, 656 mm lăţime şi 925 mm adîncime.

Caracteristicile celulelor ASIF-36-750:

— tensiunea nominală: 35 kV;

— tensiunea maximă admisibilă: 40,5 kV;

— puterea de rupere: 750 MVA;

— curentul nominal: 630 sau 800 A;

— curentul de şoc admisibil: 38 kA max;

— curentul de stabilitate termică la 4s: 15kA;

— dispozitivul de acţionare prevăzut cu arc cu armare cu motor de 110, 220 V c.c. sau 220 V c.a.;

— curentul operativ continuu sau redresat: 60, 110 şi 220 V.

Gabaritele celulelor: înălţimea 2360; lăţimea 750 şi adîncimea 1360+310 mm, pentru părţile proeminente de ghidaj.

Greutatea unei celule este de 1400 kg, din care căruciorului îi revine 1000 kg.

Pentru variantele cu trei transformatoare de curent pe fază, înălţimea celulei creşte la 2535 mm.

Celulele pot funcţiona în medii cu umiditate relativă pînă la 80%, în încăperi cu temperaturi între −10 şi +45°C. Temperatura de calcul a celulei pentru valorile nominale este de 35°.

Celulele de cabluri admit racordarea pînă la şase cabluri monofazate cu secţiuni de la 120 la 630 mm².

Secţionarea în lung se poate realiza într-o singură celulă.

Conform datelor furnizorului, pentru o staţie de 35 kV cu celule ASIF este necesară o încăpere de 2700 mm în cazul racordurilor în cablu, sau 3500 mm pentru ieşiri în bare în partea superioară.

La aşezarea celulelor pe o singură parte, lăţimea clădirii trebuie să fie de 3600 — 4000 mm, iar la aşezare pe două rînduri 6000 mm.

*(Elektrohoziaistvo za rubejom'', nr. 4, august 1971, p. 26—31)*

Din 1960 s-a redus construcţia staţiilor de 110/35 kV ale reţelei din Stuttgart, trecîndu-se direct la staţii de 110/10 kV.

Din anul 1965, punctele de alimentare ale reţelei de 110 kV au fost realizate prin staţii de 220/110 kV. Puterile staţiilor de 110 kV sînt limitate la 5 GVA. Neutrul reţelei de 110 kV este tratat prin bobine de stingere.

În 1967/68 a fost realizată o staţie de 110 kV cu bare duble, pe o supra-

față de 2500 $m^2$. Costul stației a fost de 5 milioane mărci. O altă stație cu întreruptoare debroșabile a costat, de asemenea, foarte mult. Atunci s-a hotărît trecerea la stații cu scheme simplificate — bară simplă secționată și separatoare de sarcină în locul întreruptoarelor — dar în execuție blindată cu hexaflorură de sulf.

Schema a permis efectuarea cu aceeași ușurință a manevrelor ca și în stațiile complicate, cu întreruptoare, iar în cazul defectelor intervine automatizarea care declanșează întreruptorul stației de alimentare și în pauza de RAR deschide separatorul de sarcină al elementului defect. Pauza de 1—2 s nu este resimțită de consumatori.

Comparația pentru cele trei stații amintite este dată în tabelul următor:

United States Energy Commission" a „cerut firmelor specializate devizul unei instalații de demonstrație pentru reactoare rapide regeneratoare. „General Electric" a făcut următoarea ofertă:

— costul de execuție: $1010 \times 10^6$DM

— dezvoltarea și probele: $330 \times 10^6$DM

— patru încărcări de elemente combustibile pentru 5 ani de exploatare:

$$139 \times 10^6 \text{ DM}$$

$$1479 \times 10^6 \text{ DM}$$

(„BWK" nr. 4, 1971)

Pacific Gas" și „Electric Company" „(SUA) au comandat în acest an la „General Electric" două instalații nucleare a cîte 1100 MW pentru Point Arena

| Schema | Izolația | Tipul intreruptorului | Dimensiunile celulei, inclusiv coridorul, m | Volumul constr/cel., $m^3$ | Costul pe celulă, mărci |
|---|---|---|---|---|---|
| Dublu sistem de bare | aer | staționar | 5,8×12,5×7,8 | 565 | 250.000 |
| Dublu sistem de bare | aer | debroșabil | 5,7×11×7 | 440 | 250.000 |
| Sistem simplu de bare cu secționare longitudinală | hexaflorură de sulf | separator de sarcină cu hexaflorură de sulf, blindat | 9,5×4×4,5 | 170 | 150.000 |

Stația cu celule blindate a fost pusă sub tensiune în 1970. Costul noului tip de stație reprezintă 69 % din cel al stațiilor cu bare duble și exploatarea lui este mult mai economică prin reducerea personalului de întreținere și exploatare.

*(„Energohozeaistvo za rubejom", nr. 4, august 1971, p. 42—44 și „Energiewirtschaftliche Tagesfragen", nr. 5, 1970)*

În 1969 s-a pus în serviciu la Krasnodar (U.R.S.S.) o turbină cu gaze de 100 MW, cea mai mare din lume. A doua instalație de acest tip se va livra Ungariei

*„Commerce exterieur" (URSS) 1971, nr. 9, p, 11)*

În colaborare cu „Centrul de cercetări nucleare Jülich" și unele industrii, în R. F. a Germaniei s-a realizat un studiu privind „posibilitățile proiectului AVR-turbină cu gaze", care a fost terminat în ianuarie 1971 și predat Ministerului pentru știință și învățămînt. În acest studiu se arată cum se poate obține o instalație cu un singur circuit cu costuri și timp de execuție relativ mai mici, folosind direct turbina cu gaze.

*(„BWK" nr. 4. 1971)*

din California. Primul bloc va fi gata în 1977 și al doilea în 1979.

*(„BWK", nr. 4, 1971)*

Firma japoneză „Kansai Electric Power Company" a comandat firmei americane „Westinghouse" un al doilea bloc nuclear de 1175 MW pentru centrala Ohi, care va fi pus în serviciu în 1977, la un an după primul bloc.

*(„BWK", nr. 4, 1971)*

Producția brută de energie electrică în R. F. a Germaniei va crește, pînă în 1980, de la 243 miliarde kWh, cît a fost în 1970, la 500 miliarde kWh. În același interval, puterea va crește de la 51,3 GW la 102 GW. În acest scop investițiile vor fi de 60 miliarde DM, din care 2/3 pentru transportul energiei electrice și 1/3 pentru producție.

*(„ETZ—B", nr, 12, 1971)*

În Franța se proiectează o mare centrală cu acumulare și pompare de 720 MW. Turbogeneratoarele vor putea lucra și ca pompe și se vor instala într-o centrală sub pămînt la Revin în Ardeni. Centrala va fi legată printr-o linie de 380 kV cu Paris, Lille și Belgia și va ajuta să se acopere sarcinile de vîrf în R. F. a Germaniei și în Luxemburg.

*(„ETZ—B", nr 12, 1971)*

Consumul de energie electrică din Japonia va crește pînă în 1975 cu 73 %, atingînd 476 TWh.

*(„ETZ—B", nr. 12, 1971)*

Pe fluviul Broad, în Carolina de Sud (SUA), se va construi o centrală combinată hidro-nucleară cu puterea de 2,28 GW. Primul reactor (0,9 GW) va intra în serviciu în 1977 și al doilea în 1981. Generatoarele hidraulice vor intra în funcțiune în 1976 și respectiv 1978.

*(„ETZ—B", nr.13, 1971)*

Cea mai mare turbină cu abur a Austriei, de circa 285 MW, se execută de către firma „Brown Boveri" din Austria pentru mărirea centralei de la Kornenburg. Această turbină va intra în serviciu la 1 octombrie 1974.

*(Elektrizitätswirtschaft", nr. 12, 1971)*

Washington Public Power Supply „System" (WPPSS) și ASAEC au căzut de acord ca reactorul Hanford nr. 1 să producă energie electrică cu o plată anuală de $73.10^6$ DM pentru $4.10^9$kWh, adică mai scump cu 1, 8 D pf./kWh decît la hidrocentrale, însă mai ieftin decît în orice nouă centrală termică.

*(„BWK", nr. 6, 1971)*

Producția de energie nucleară în 1970:

| Țara | Numărul centralelor nucleare | Energia electrică produsă, MWh |
|---|---|---|
| R. F. G. | 6 | 6 417 153 |
| Belgia | 2 (inclusiv 50 % Chooz) | 720 041 |
| Franța | 6 (inclusiv 50 % Chooz) | 5 057 477 |
| Anglia | 13 | 26 285 442 |
| India | 1 | 2 177 533 |
| Italia | 3 | 3 175 767 |
| Japonia | 3 | 3 296 108 |
| Canada | 2 | 1 053 557 |
| Olanda | 1 | 367 970 |
| Suedia | 1 | 55 762 |
| Elveția | 1 | 1 945 330 |
| Spania | 1 | 923 500 |
| S.U.A. | 13 | 22 818 344 |
| Total | 52 | 74 293 984 |

*(„BWK", nr. 6, 1971)*

Rezervele mondiale de gaze se ridică la 40 500 miliarde $m^3$, din care: Europa de Vest 10,1 % (R. F. G. 1 %; Olanda 5,7 %); U.R.S.S. 29,9 %; S.U.A. 23,4 %; Orientul Apropiat 16,0 %; Africa 11,9 %.

*(„Maschinenmarket" nr. 3, sept. 1971)*

**Revista „ENERGETICA" — organ al Ministerului Energiei Electrice și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din R.S. România (CNIT). Redacția: București, str. Galați nr. 5—7, Sectorul II. Tel. 136683, 130053. Instituțiile pot achita abonamentele pentru biblioteci și cabinete tehnice în contul nostru de virament nr. 30.01 01.00 B.N.R.S.R. — Sectorul VI. Tarif pentru întreprinderi: lei 100 anual. Tarif pentru abonamente individuale: lei 30 anual. Prețul unui exemplar lei 5**

**Taxele poștale plătite în numerar conform aprobării D.G.P.T. nr. 10.1095, 1967**

I.P.I. c. 2993

**41 401**

Országos Műszaki Könyvtár és Dokumentációs Központ 1883

## OFICIUL DE DOCUMENTARE ENERGETICĂ

***București, str. Galați nr. 5—7***
***— Sectorul 2 —***

**Oficiul de Documentare Energetică (O.D.E.) este organul de specialitate al Ministerului Energiei Electrice pentru informarea și documentarea tehnică și economică în ramura energetică.**

**O.D.E. editează și difuzează revistele tehnice de specialitate din ramura energetică.**

**O.D.E. editează și difuzează periodicele documentare privind ramura energetică.**

**O.D.E. editează și difuzează publicațiile tehnice departamentale: prescripții tehnice (normative, regulamente, instrucțiuni, condiții tehnice, fișe tehnologice, norme interne etc.), norme și carnete de protecție a muncii, note tehnice, studii documentare etc.**

**O.D.E. editează și difuzează materiale de popularizare și propagandă tehnico-economică: afișe, pliante, broșuri, albume etc.**

**O.D.E. execută, la cerere, traducerea din orice limbă a materialelor și documentațiilor tehnice ca: articole, referate, prescripții, cataloage de produse, prospecte și alte lucrări de specialitate.**

***Revistele tehnice editate de O.D.E.:***

**— „Energetica“**
**— „Producerea, transportul și distribuția energiei electrice și termice“**
**— “Construcții și montaje energetice„**
**— „Studii și cercetări în energetică“ și suplimentul „Utilizarea calculatoarelor în electroenergetică“**

***Periodicele documentare editate de O.D.E.:***

**— „Buletinul de informare pentru cadrele de conducere din energetică“**
**— „Buletinul de documentare tehnică în energetică“**

Caiete selective pe temele:

**— „Proiectarea și executarea construcțiilor și instalațiilor energetice“**
**— „Exploatarea, întreținerea și repararea instalațiilor energetice“**
**— „Protecția muncii și paza contra incendiilor în construcțiile și instalațiile energetice“**
**— „Fișe documentare“**
**— „Prescripții tehnice în sectorul energetic“**

***Abonați-vă la revistele și publicațiile periodice editate de Oficiul de documentare energetică pentru a fi la curent cu toate problemele și noutățile tehnice ce apar în activitățile de cercetare, dezvoltare, proiectare, execuție și exploatare din ramura energetică.***

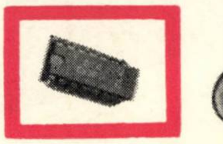
***Folosiți servicile pe care vi le oferă Oficiul de documentare energetică pentru procurări de cărți și reviste străine, traduceri, lucrări reprografiate etc.***

**O.D.E. — M.E.E. — București, Str. Galați nr. 5—7, sectorul 2**
**telefon: 15.16.28 — 14.00.17. — 13.00.53**

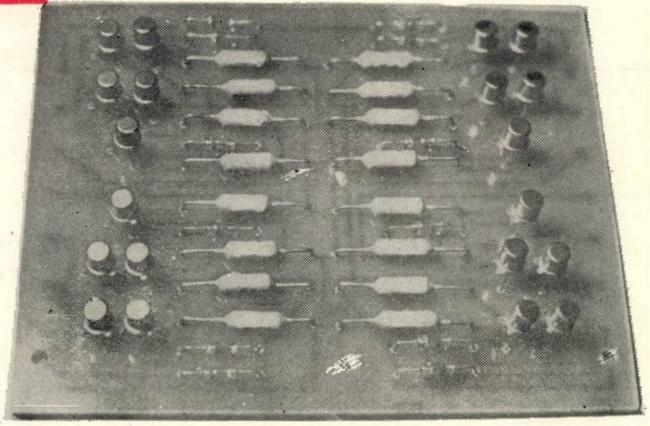
# ÎNTREPRINDEREA DE PIESE RADIO ȘI SEMICONDUCTOARE BĂNEASA

BUCUREȘTI II — ROMANIA
Str. Erou Iancu Nicolae nr.32
Telefon 33.38.30 Telex 011.203

CIRCUIT INTEGRAT



ÎNLOCUIEȘTE MONTAJUL CLASIC



**Dezvoltarea dinamică a produselor fabricate în întreprinderea noastră ne permite să vă oferim în 1972 circuite integrate logice monolitice pe bază de siliciu.**
**Siguranța în funcționare și parametrii profesionali ai circuitelor integrate constituie o garanție în utilizarea lor în informatică și automatizări industriale**

## *VĂ PREZENTĂM tipurile ce urmează să intre în fabricație în prima etapă:*

CDB ←
- 400 E — operator cuadruplu ȘI — NU cu 2 intrări
- 410 E — operator triplu ȘI — NU cu 3 intrări
- 440 E — operator dublu de putere ȘI — NU cu 4 intrări
- 430 E — operator ȘI — NU, cu 8 intrări
- 451 E — operator dublu ȘI — SAU — NU cu 2 × 2 intrări
- 454 E — operator ȘI — SAU — NU cu 4 × 2 intrări
- 472 E — circuit bistabil JK „MASTER—SLAVE''
- 473 E — circuit bistabil dublu JK „MASTER— SLAVE''
- 400 HE — operator cuadruplu ȘI—NU cu 2 intrări
- 410 HE — operator triplu ȘI — NU cu trei intrări
- 411 HE — operator triplu ȘI cu 3 intrări
- 440 HE — operator dublu de putere ȘI — NU cu 4 intrări
- 430 HE — operator ȘI — NU cu 8 intrări
- 451 HE — operator dublu, ȘI — SAU — NU cu 2 × 2 intrări
- 454 HE — operator ȘI—SAU—NU cu 1 × 3 intrări și 3 × 2 intrări
- 400 HP — operator cuadruplu ȘI — NU cu 2 intrări
- 440 HP — operator dublu de putere, ȘI — NU, cu 4 intrări
- 451 HP — operator dublu ȘI — SAU — NU cu 2 × 2 intrări
- 481 E — memorie cu 16 biți

CLB 2711 C — dublu comparator diferențial de tensiune

**Seria profesională CDB 400 E — CDB 473 E constituie o familie de circuite integrate logice realizate în tehnica TTL („Transistor, Transistor Logic").**
**Circuitele CDB 400 HE — CDB 454 HE oferă o viteză în jur de 6 n sec/poartă, ceea ce permite utilizarea lor în secțiunile critice ale sistemelor digitale și ale sistemelor rapide de calcul și prelucrare a datelor.**
**CDB 481 E reprezintă o memorie monolitică bloc-notes cu 16 circuite basculante realizată în tehnica TTL, rapidă.**
**Seria circuitelor pe care le oferim mai cuprinde și un dublu comparator de tensiune CLB 2711 C utilizabil și ca detector de nivel cu 2 limite.**
**Întrucît există posibilitatea de a fabrica și alte tipuri de circuite integrate, vă rugăm să ne comunicați tipurile pe care le solicitați, precum și cantitățile necesare pentru a putea programa în timp util fabricarea lor.**

# IPRS

*Dezvoltarea pe care a luat-o laboratorul de electronică din cadrul Serviciului Constructor şef al uzinei noastre, îl pune în situaţia să colaboreze cu orice întreprindere pentru rezolvarea problemelor de interes comun.*

*Sugerăm idei şi scheme cu componente de fabricaţie românească. Construim montaje şi aparate pentru diverse domenii de electronică aplicată, cum ar fi:*

- **SURSE STABILIZATE**
- **PUNŢI ELECTRONICE DE MĂSURĂ**
- **PROGRAMATOARE**
- **RELEE DE TIMP**
- **TERMOSTATE**
- **AMPLIFICATOARE AUDIO**
- **MILIVOLTMETRE C.C. ŞI C.A.**
- **OSCILATOARE**
- **INVERTOARE**
- **TELECOMENZI ETC.**

**La cererea Dvs. studiem posibilităţile de înlocuire în aparatura ce o posedaţi a componentelor de import cu componente fabricate în ţară.**

**Aşteptăm propunerile Dvs.**

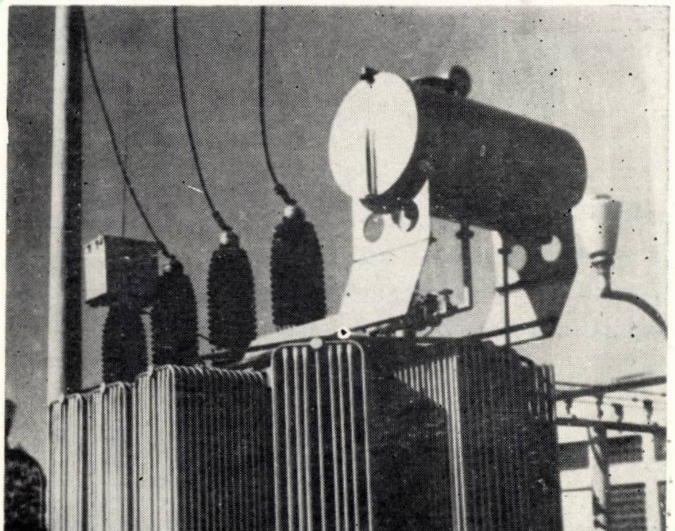
**Întreprinderea de piese radio şi semiconductori Băneasa**

STR. EROU IANCU NICOLAE NR. 32 • SECTORUL 2
TELEFON 33.38.30 • TELEX. 011203

# IRE CLUJ

asigură alimentarea cu energie electrică din sistemul național a tuturor consumatorilor urbani și rurali din zonă, în condiții de siguranță și de calitate

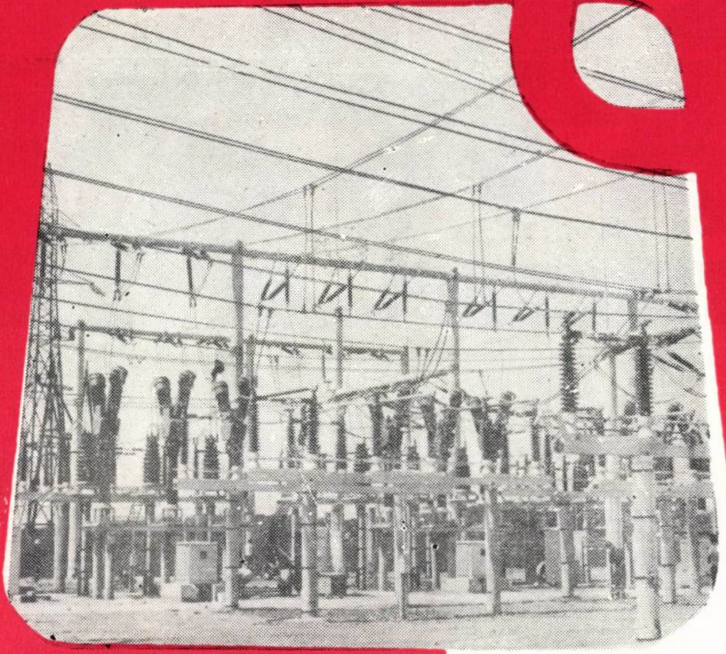
proiectează linii electrice aeriene și subterane de înaltă, medie și joasă tensiune, stații și posturi de transformare, electrificări rurale, automatizări și modernizări în instalații
execută linii, stații și posturi de transformare, electrificări rurale, instalații electrice interioare în mediul urban și rural



I.R.E. Cluj

ÎNTREPRINDEREA DE REȚELE ELECTRICE
Cluj, str. 30 Decembrie nr. 27, tel.: 239.90

# IRE BAIA MARE



**ASIGURĂ** alimentarea cu energie electrică din sistemul energetic național a tuturor consumatorilor din zonă, în condiții de siguranță și de bună calitate.

Instalațiile sale de producere, transport și distribuție dispun de echipamente moderne și sînt exploatate la un înalt grad de tehnicitate.

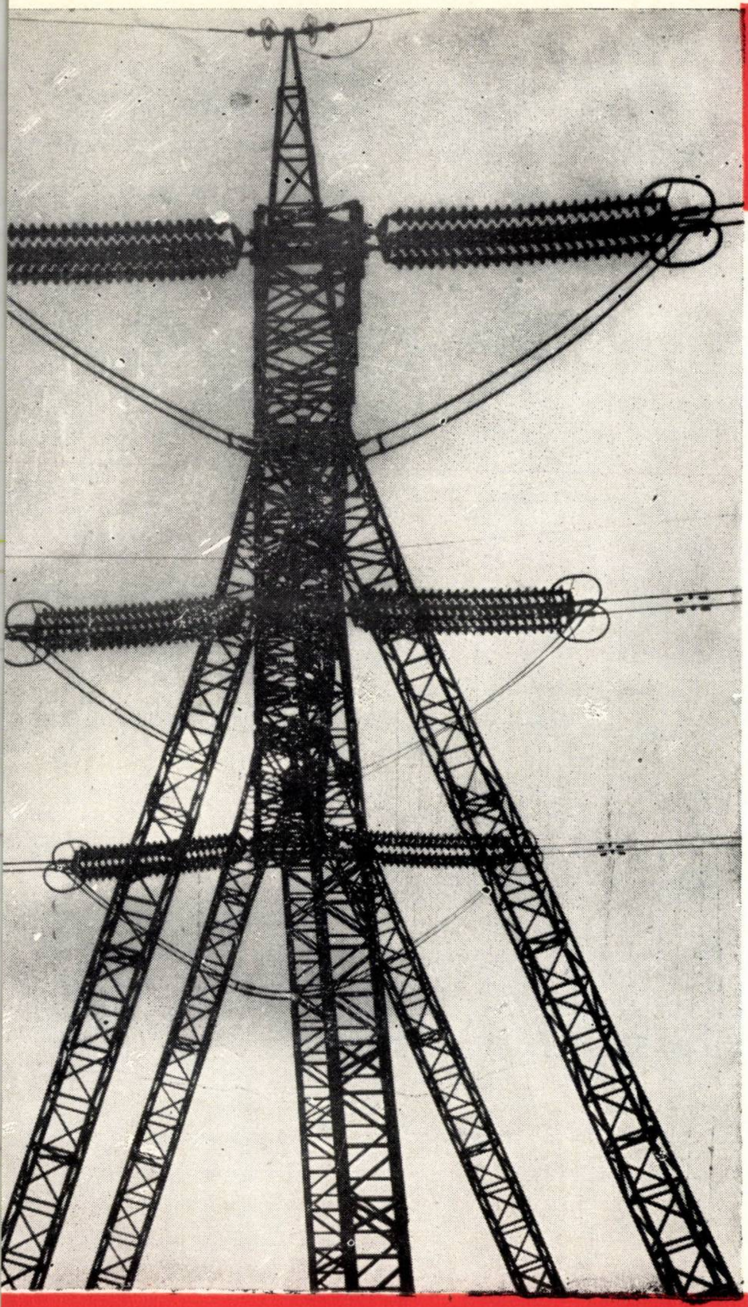
**ASIGURĂ** solicitanților proiectarea, executarea și exploatarea instalațiilor necesare pentru alimentarea cu energie electrică în cele mai bune condiții tehnice și economice.

SERVICIILE INTREPRINDERII STAU LA DISPOZITIA SOLICITANTILOR PENTRU REZOLVAREA TUTUROR PROBLEMELOR PRIVIND ALIMENTAREA CU ENERGIE ELECTRICA.

**INTREPRINDEREA DE REȚELE ELECTRICE**

Str. Victoriei nr. 66 -
Jud. Maramureș

**BAIA MARE**




INTREPRINDEREA

ELECTROMONTAJ

# CLUJ

*Execută:*

- linii electrice de transport pentru tensiuni pînă la 400 kV
- linii electrice de distribuție
- rețele electrice în cablu subteran pînă la 35 kV
- stații de transformare de 35–400 kV
- stații de distribuție și posturi de transformare
- rețele de iluminat public
- electrificări rurale

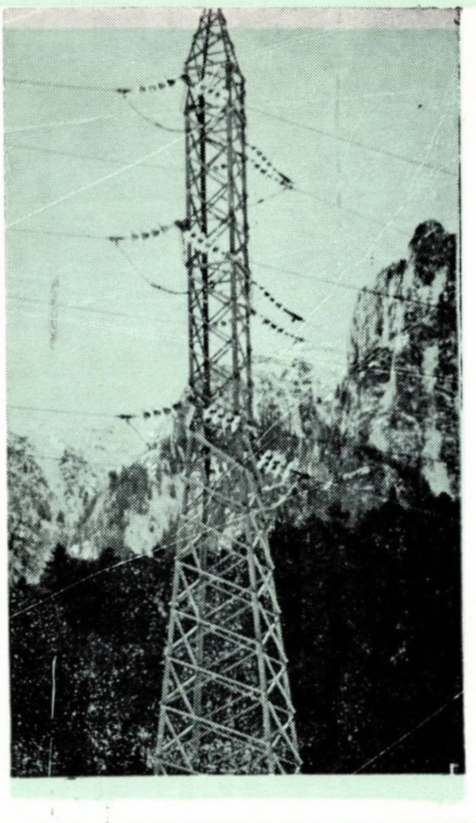
INTREPRINDEREA ELECTROMONTAJ

CLUJ Str. 30 Decembrie nr. 27

# IRE SUCEAVA

*proiectează, execută și exploatează :*

- posturi și stații de transformare
- linii electrice aeriene și subterane de transport și distribuție
- instalații de iluminat exterior
- instalații electrice interioare

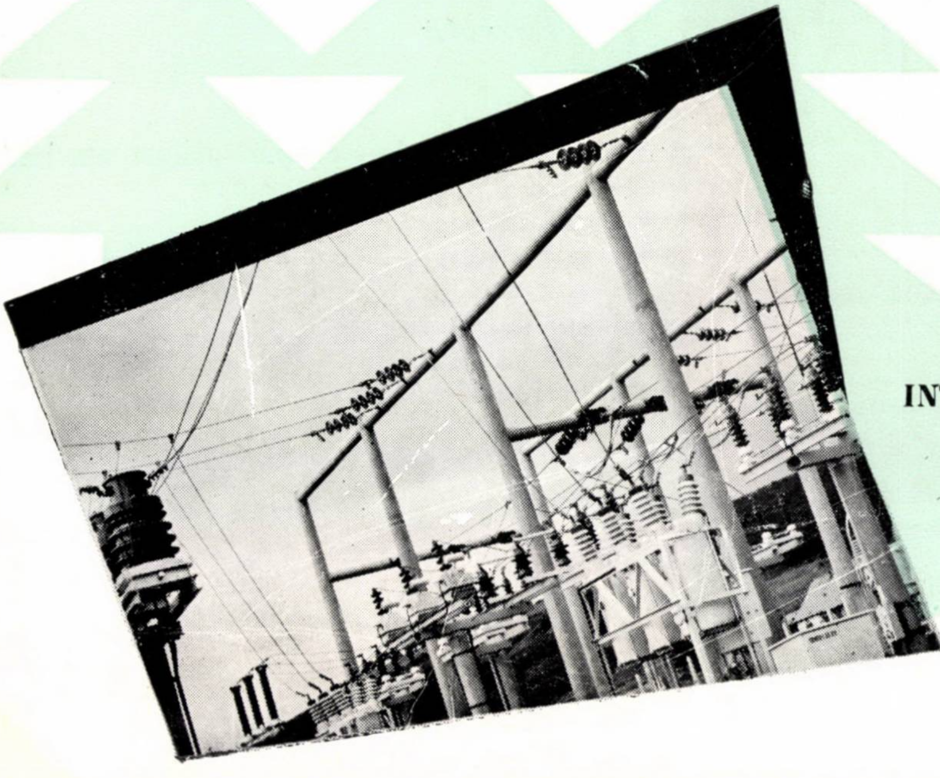


*execută :*

încercări profilactice la aparatajul electric și verificări de protecții prin relee

*asigură :*

buna deservire a consumatorilor de energie electrică din sectorul industrial, agricol și casnic din regiune

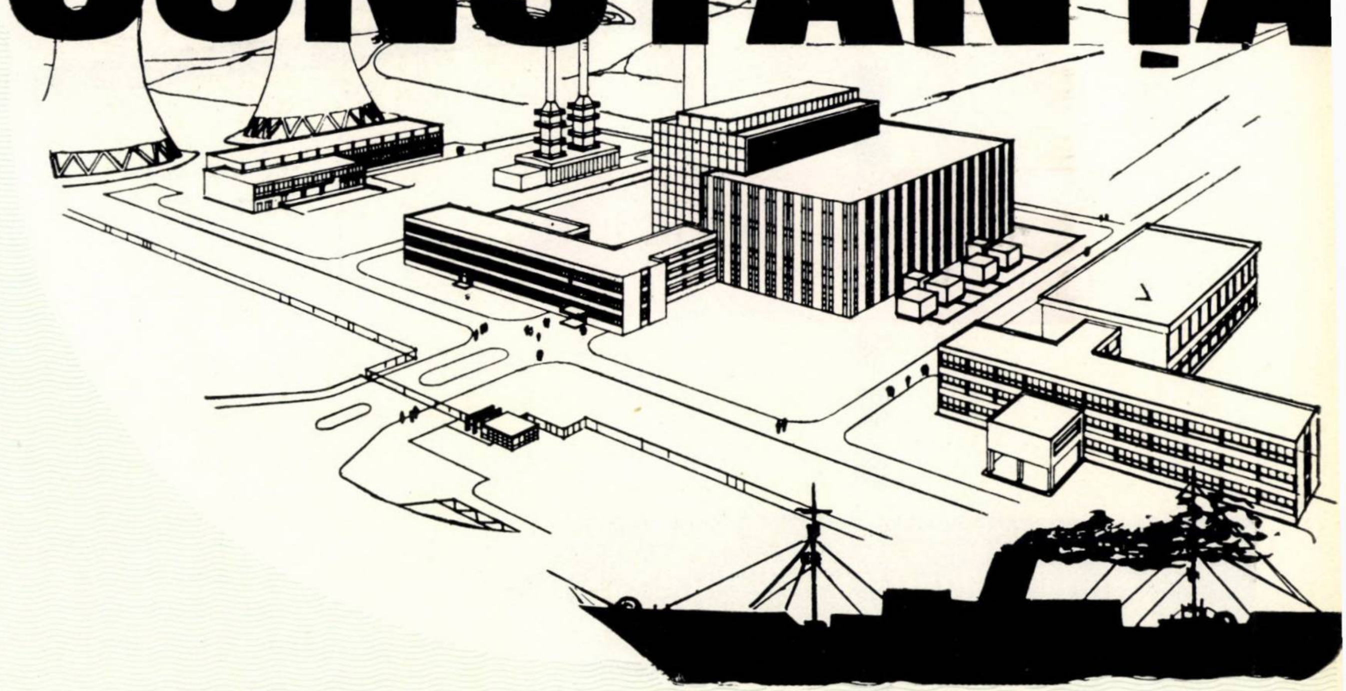


**INTREPRINDEREA DE REȚELE ELECTRICE SUCEAVA**
**Str. 23 August nr. 1**

ÎNTREPRINDEREA ELECTROCENTRALE CONSTANȚA furnizează, prin centralele sale, energie electrică sistemului energetic național, asigurînd o mare parte din necesarul de energie electrică al Dobrogei.

# I.E.C.

# CONSTANȚA



**CET PALAS, în construcție, cu o putere totală instalată de 100 MW, funcționează în prezent cu 50 MW.**

**Prin această nouă centrală se asigură căldura necesară pentru zona industrială și urbană a municipiului Constanța și se ridică gradul de siguranță în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor din Dobrogea.**

*ÎNTREPRINDEREA ELECTROCENTRALE CONSTANȚA*
*Bd. Aurel Vlaicu nr. 123*

# energoutilaj

INCHIRIAZĂ UTILAJE DE CONSTRUCȚII

excavatoare 0,3-1,25 $m^3$
buldozere
automacarale 3-67 tf
tractoare pe şenile
tractoare pe pneuri

PRIN SECȚIILE SALE DE EXPLOATARE DIN LOCALITĂȚILE :

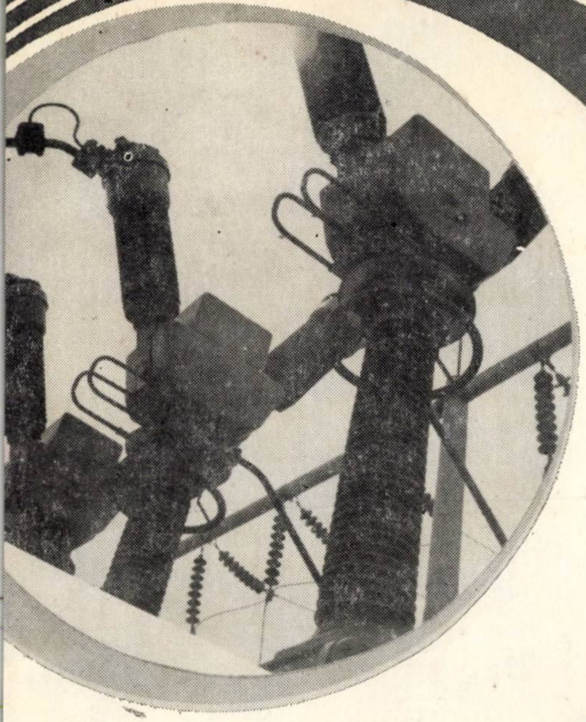
BUCUREŞTI, str. Acţiunii nr. 26, tel. 23.43.70
CIMPINA, str. Bucea nr. 2, tel. 2827, telex 019615
CLUJ, str. Uzinei nr. 4, tel. 13894, telex 031275
SIBIU, str. Turnişor nr. 2, tel. 11904, telex 012739
BACAU, str. Oneşti nr. 3, tel. 13398
CHISCANI, jud. Brăila - telex 015418
ROGOJELU, Tg. Jiu, comuna Roşia
TIMIŞOARA, str. Prahova nr. 12, tel. 12344

ENERGOUTILAJ

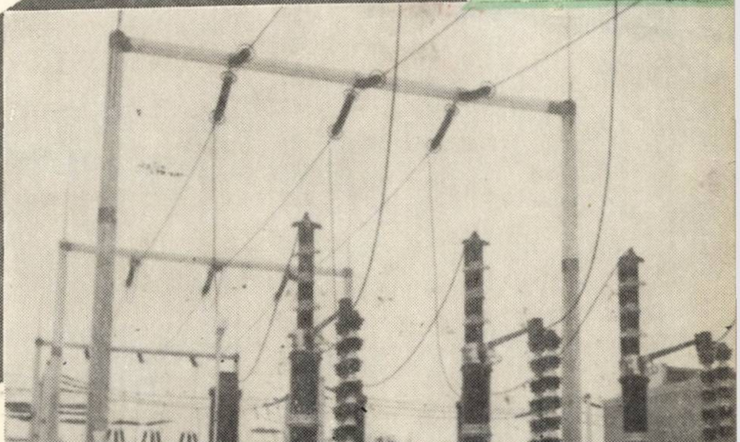
Bucureşti, str. Acţiunii nr. 22, sector 5
tel. 23.43.40, telex 537

VINDE BALAST prin balastiera FIŞCĂLIA, jud. Vîlcea, tel. Ioneşti 14.14

INTREPRINDEREA DE REȚELE ELECTRICE DEVA
Str. George Enescu nr. 35—39



IRE * DEVA



*asigură :*

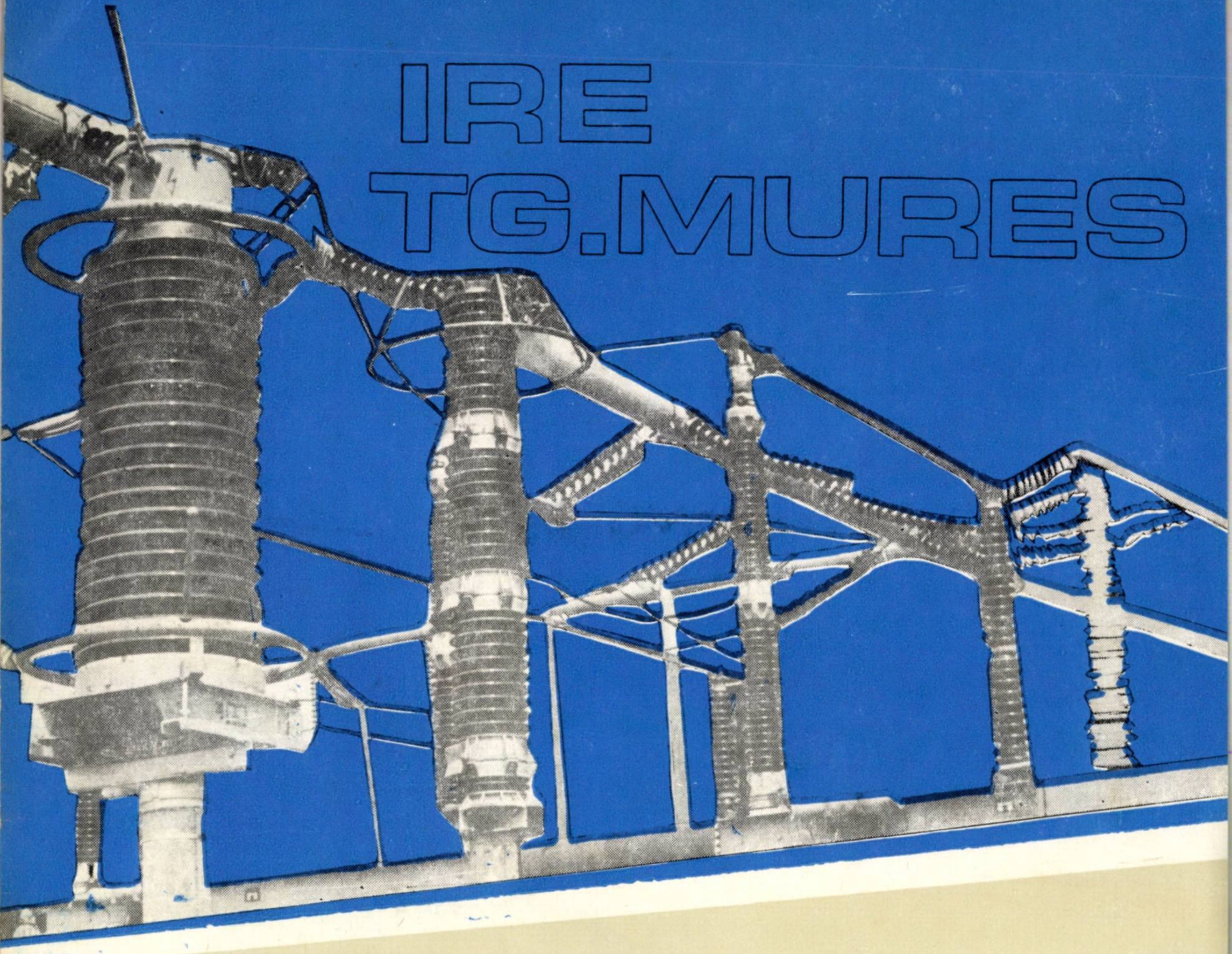
● buna deservire a consumatorilor de energie electrică din sectorul industrial, agricol, feroviar și casnic din regiune

*proiectează și execută :*

● rețele, posturi, stații de medie și înaltă tensiune, branșamente și instalații interioare în mediul urban și rural, la orice categorie de consumatori

*proiectează și execută :*

● automatizări și modernizări de instalații electrice




PRODUCE, TRANSPORTA SI DISTRIBUIE energie electrică
în reţele electrice de înaltă, medie şi joasă tensiune

EXECUTA :

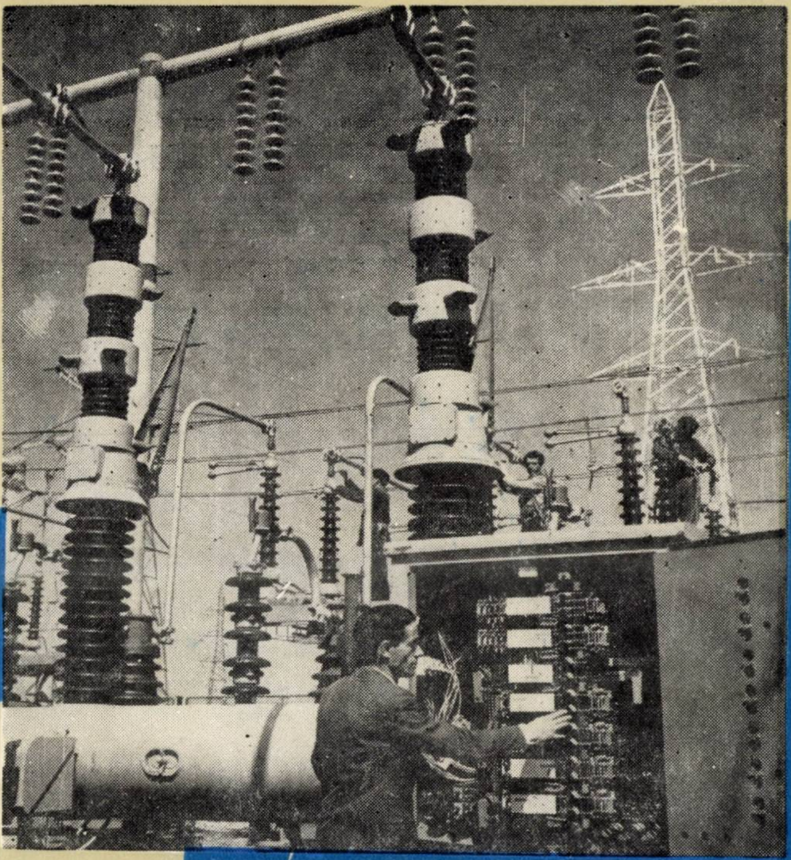
- lucrări de construcţii - montaj la electrificări rurale şi industriale şi instalaţii interioare
- verificări de aparate electrice de măsură şi control în laboratorul PRAM-
- lucrări de întreţinere la iluminatul public
- proiecte de instalaţii energetice

SERVICIILE DE SPECIALITATE ALE IRE TG. MURES VA STAU LA DISPOZITIE PENTRU REZOLVAREA IN CONDITII TEHNICE SI ECONOMICE SUPERIOARE A PROBLEMELOR PRIVIND ALIMENTAREA CU ENERGIE ELECTRICA.

**întreprinderea de reţele electrice TG.MUREŞ**

Strada Elba nr. 3, Judeţul Mureş

# TEM



oduce prin u nităţile sale industriale:

- Stîlpi metalici pentru linii electrice aeriene de înaltă și foarte înaltă tensiune în construcție sudată sau bulonată zincată;
- Stîlpi de beton armat centrifugat sau vibrat pentru linii electrice aeriene de înaltă, medie și joasă tensiune;
- Panouri de comandă, măsură, protecție și semnalizare pentru centrale și stații electrice;
- Celule prefabricate de tip deschis pînă la 20 kV și 250 A;
- Posturi de transformare urbane și rurale complet prefabricate pînă la 20 kV și 630 kVA;
- Diverse prefabricate pentru centrale electrice, stații, posturi de transformare și linii electrice de transport și distribuție.

Execută prin unităţile sale de construcţii:

— Staţii electrice pînă la 400 kV și posturi de transformare de orice mărime și pentru orice raport de transformare;
— Linii electrice aeriene de transport și distribuție pentru tensiuni pînă la 400 kV;
— Linii electrice de distribuție în cablu de înaltă medie și joasă tensiune;
— Electrificări rurale;
— Instalații de iluminat public.

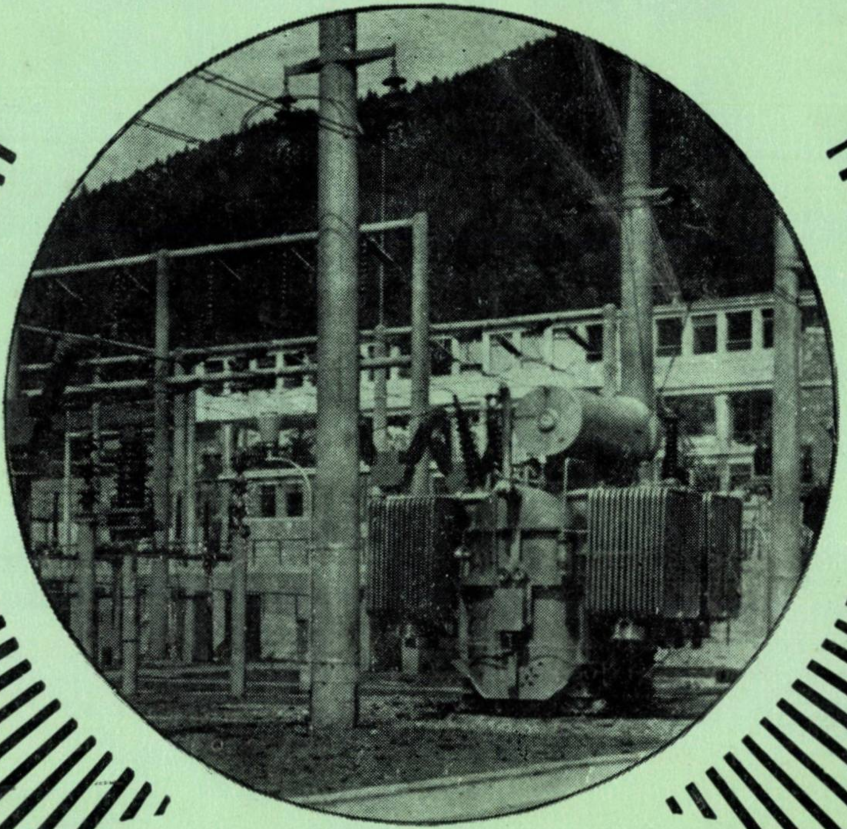
*La executarea produselor industriale şi a instalaţiilor electrice, Trustul Electromontaj foloseşte ocedee tehnologice moderne de mare productivitate, care conduc la durate scurte de execuţie şi un înalt nivel calitativ al lucrărilor şi produselor.*

**TRUSTUL ELECTROMONTAJ**

**BUCUREŞTI**

CALEA MOŞILOR Nr. 158
telefon: 16.63.30., telex TRELMONTAJ — 271

# întreprinderea de rețele electrice PLOIEȘTI



• **PROIECTEAZĂ, EXECUTĂ ȘI EXPLOATEAZĂ**

**posturi și stații de transformare, linii electrice aeriene și subterane de transport și distribuție, instalații de iluminat exterior, instalații electrice interioare**

• **EFECTUEAZĂ**

**încercări profilactice la aparatajul electric și verificări de protecție prin relee**

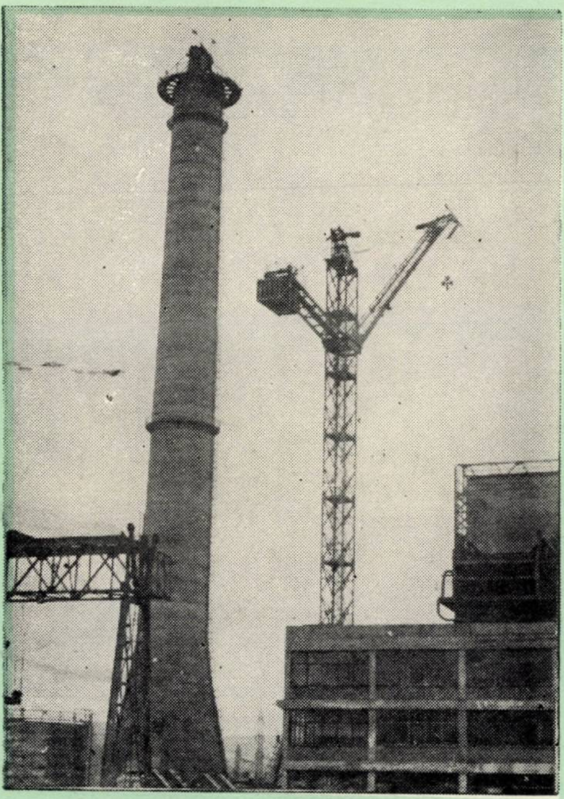
• **ASIGURĂ**

**buna deservire a consumatorilor de energie electrică din sectorul industrial, agricol și casnic din zonă**

***ÎNTREPRINDEREA DE REȚELE ELECTRICE PLOIEȘTI***

# TRUSTUL DE CONSTRUCŢII ŞI MONTAJE ENERGETICE

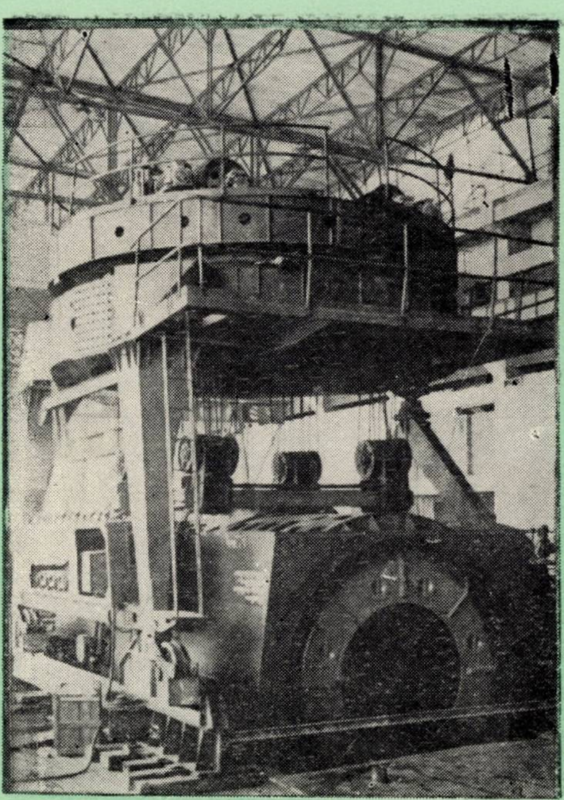
## BUCUREŞTI



*Execută prin unităţile sale:*

- Lucrări de construcţii la centrale termoelectrice echipate cu grupuri de 25 –315 MW
- Construcţii hidrotehnice aferente centralelor termoelectrice
- Staţii electrice de conexiuni interne şi externe de 20 –400 kV aferente centralelor
- Reţele de termoficare industrială şi urbană
- Confecţii metalice aferente centralelor termoelectrice

TCME



- Montaje de centrale termoelectrice echipate cu grupuri de 25 – 315 MW şi centrale hidroelectrice de 5.5 – 170 MW
- Instalaţii hidromecanice pentru centrale electrice
- Instalaţii de automatizare, mecanizare, control pentru centrale electrice

TRUSTUL DE CONSTRUCTII
SI MONTAJE ENERGETICE
Cal. Moşilor 158, tel. 16. 63. 30

INTREPRINDEREA

# Energomontaj

ESM

*Exécute:*

- Le montage, la mise en fonction et la mise en exploitation des équipements et installations énergétiques pour centrales thermiques et hydro-électriques :

ÉQUIPEMENTS ET INSTALLATIONS POUR CENTRALES THERMIQUES ET CENTRALES POUR LA PRODUCTION COMBINÉE CHALEUR/FORCE :

- chaudières à vapeur de grande capacité et à paramètres élevés de fonctionnement
- turbines à vapeur de puissances unitaires jusqu'à 350 MW
- installations de combustible pour : charbon, mazout, gaz
- autres installations méchaniques, afférentes aux centrales thermiques : récipients, conduites, pompes etc.

ÉQUIPEMENTS ET INSTALLATIONS POUR CENTRALES HYDRO-ÉLECTRIQUES ET INSTALLATIONS HIDROTECHNIQUES :

- turbines hydrauliques de tout type, à puissances unitaires jusqu'à 176 MW
- conduites forcées
- équipements et autres installations mécaniques pour centrales hydro-électriques et thermiques
- équipements et installations pour écluses

ÉQUIPEMENTS ET INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES POUR CENTRALES THERMIQUES, HYDRO-ÉLECTRIQUES, POSTES DE TRANSFORMATEURS ET INSTALLATIONS SPÉCIALES

- installations de commutation primaire jusqu'à une tension de 400 kV y compris
- installations pour les services auxiliaires aux centrales et postes de transformateurs
- installations de commutation secondaire
- installations d'automatisation, etc.

*Carries out :*

Erection, operation and commissioning of power equipments and installations for thermal and hydro-electric power plants

INSTALLATIONS AND EQUIPMENTS FOR THERMAL POWER PLANTS AND FOR COMBINED HEAT AND POWER PLANTS :

- boilers of high capacity and high operational parameters
- steam turbines up to 350 MW per unit
- fuel installations for : coal, fuel-oil, gas
- other mechanic equipment necessary for thermal power plants : tanks, pipes, pumps, etc.

EQUIPMENTS FOR HYDRO-ELECTRIC POWER PLANTS AND HYDRO-TECHNICAL INSTALLATIONS :

- hydraulic turbines of all types, up to 176 MW per unit
- penstocks
- other mechanic equipment for hydro-electric power plants
- equipments and installations for locks

ELECTRIC EQUIPMENT FOR THERMAL AND HYDRO-ELECTRIC POWER PLANTS, SUBSTATIONS, TRANSFORMER POSTS AND SPECIAL INSTALLATIONS :

- primary switching installations up to 400 kV
- indoor service installations in power plants and transformer posts
- secondary switching installations
- automation equipment, etc.

BUCUREŞTI, Sectorul 1, Calea Dorobanţi nr. 105
Tel. : 12.76.30, telex : 335

1972 MAR 18

E 2039

MW 2

04

# energetica

VOLUMUL XX
BUCUREŞTI • FEBRUARIE 1972

0 6 12 18 24

# ISPH

INSTITUTE OF HYDROELECTRICAL
STUDIES AND DESIGNS
BUCHAREST 5—7, Galaţi street, ROMANIA
HIDROPROIECT — Bucharest, Telex 011-44

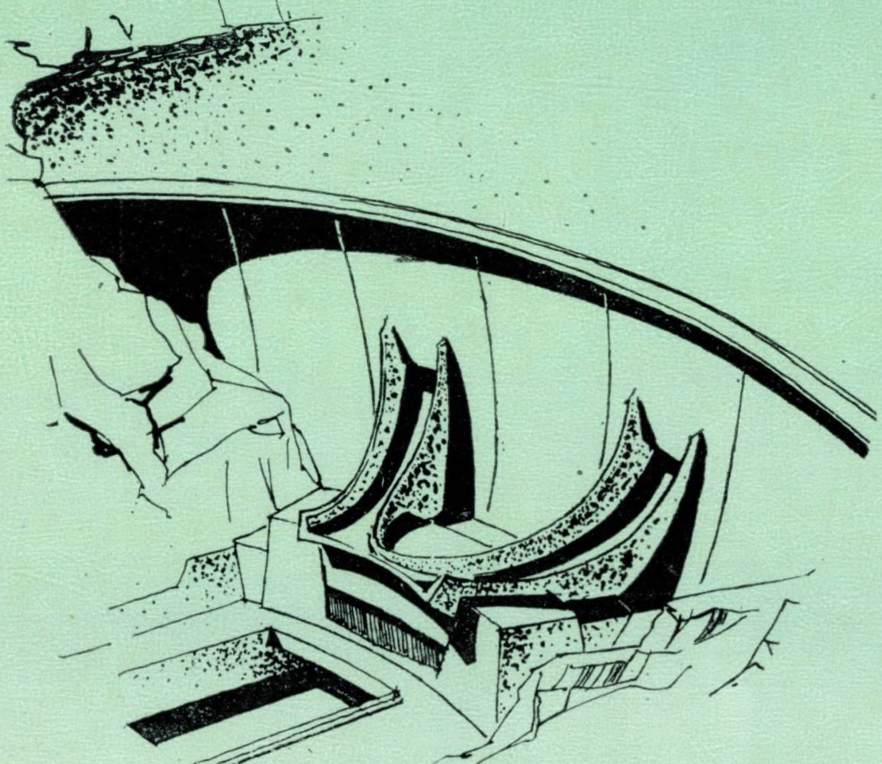
# institutul de studii și proiectări hidroenergetice

**exécute**

- études et projets
- prospections
- recherches de laboratoire
- consulting and engineering

**pour**

schémas d'aménagements hydroélectriques, centrales hydroélectriques, barrages de divers types, écluses pour la navigation, constructions souterraines et d'autres constructions hydrotechniques



**carries out**

- studies and designs
- prospections
- laboratory researches
- consulting and engineering

**for**

schemes for hydro-electric developments, hydro-electric plants, different types of dams, navigation locks, underground constructions and other hydraulic works

# ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 20 Nr. 2 FEBRUARIE

## Cuprinsul


| | | Pag. |
|---|---|---|
| *Luca, L,* şi *Leca, A.* | **Fluxurile termice critice în canale cu suprafeţe netede şi rugoase** | 49—53 |
| *Drăgan, D.* şi *Creţu, Gh.* | **Determinarea din probe a parametrilor RAT şi RAV la grupul de 100 MW de la CET Galaţi; influenţa lor asupra comportării grupului în regimuri dinamice** | 53—59 |
| *Cîrţină, Gh. I.* | **Particularităţile ferorezonanţei în sistemele trifazate** | 59—62 |
| *Potolea, E.* şi *Tudose, M.* | **Utilizarea algoritmului simplex la calculul regimului permanent al sistemelor electroenergetice** | 62—69 |
| *Ivaşcu, C.* | **Studii şi calcule cu privire la reducerea zonei moarte a releelor direcţionale** | 70—74 |
| *Popescu, A.* | **Aspecte privind transpunerea liniilor electrice aeriene** | 74—81 |
| CRONICĂ | | |
| RECENZII | | |


COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. univ. emerit ing. I. D. STĂNCESCU, redactor responsabil, ing. GR. IORGULESCU, redactor responsabil adjunct, conf. ing. I. A. BADEA, ing. ST. BERENGHI, conf. ing. A. COGĂLNICEANU, dr. ing. P. DIMO, membru corespondent al Academiei Republicii Socialiste România, laureat al Premiului de Stat, ing. H. FURTUNESCU, ing. P. IFTIME, ing. L. LUCA, ing. B. MARCU, dr. ing. A. MĂCRIŞ, conf. ing. C. MIHĂILEANU, prof. dr. ing. V. I. NIŢU, ing. A. SPÎNU, ing. R. ZANE

**OFICIUL DE DOCUMENTARE ENERGETICĂ**

## *OFICIUL DE DOCUMENTARE ENERGETICĂ*
***București, str. Galați nr. 5–7***
***— Sectorul 2 —***

**Oficiul de Documentare Energetică (O.D.E.) este organul de specialitate al Ministerului Energiei Electrice pentru informarea și documentarea tehnică și economică în ramura energetică.**

**O.D.E. editează și difuzează revistele tehnice de specialitate din ramura energetică.**

**O.D.E. editează și difuzează periodicele documentare privind ramura energetică.**

**O.D.E. editează și difuzează publicațiile tehnice departamentale: prescripții tehnice (normative, regulamente, instrucțiuni, condiții tehnice, fișe tehnologice, norme interne etc.), norme și carnete de protecție a muncii, note tehnice, studii documentare etc.**

**O.D.E. editează și difuzează materiale de popularizare și propagandă tehnico-economică: afișe, pliante, broșuri, albume etc.**

**O.D.E. execută, la cerere, traducerea din orice limbă a materialelor și documentațiilor tehnice ca: articole, referate, prescripții, cataloage de produse, prospecte și alte lucrări de specialitate.**

***Revistele tehnice editate de O.D.E.:***

**— „Energetica"**
**— „Producerea, transportul și distribuția energiei electrice și termice"**
**— „Construcții și montaje energetice"**
**— „Studii și cercetări în energetică" și suplimentul „Utilizarea calculatoarelor în electroenergetică"**

***Periodicele documentare editate de O.D.E.:***

**— „Buletinul de informare pentru cadrele de conducere din energetică"**
**— „Buletinul de documentare tehnică în energetică"**

C a i e t e  s e l e c t i v e  p e  t e m e l e :

**— „Proiectarea și executarea construcțiilor și instalațiilor energetice"**
**— „Exploatarea, întreținerea și repararea instalațiilor energetice"**
**— „Protecția muncii și paza contra incendiilor în construcțiile și instalațiile energetice"**
**— „Fișe documentare"**
**— „Prescripții tehnice în sectorul energetic"**

***Abonați-vă la revistele și publicațiile periodice editate de Oficiul de documentare energetică pentru a fi la curent cu toate problemele și noutățile tehnice ce apar în activitățile de cercetare, dezvoltare, proiectare, execuție și exploatare din ramura energetică.***

***Folosiți serviciile pe care vi le oferă Oficiul de documentare energetică pentru procurări de cărți și reviste străine, traduceri, lucrări reprografiate etc.***

**O.D.E. — M.E.E. — București, Str. Galați nr. 5—7, sectorul 2**
**telefon: 15.16.28 — 14.00.17. — 13.00.53**

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁR ÉS DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT

## СОДЕРЖАНИЕ

ДК 536.423

*Лека, А* и *Лука, Л.*: **О критических термических потоках в гладких и шероховатых каналах**

Авторы рассматривают условия появления и параметры момента кипения на гладких и шероховатых поверхностях, представляя экспериментальные результаты 26 режимов критического кипения при переохлаждении в шероховатых каналах, сравниваемые с измерениями для гладких каналов. Заключения рекомендуют применение шероховатых поверхностей для теплообмена в классических и ядерных установках.

Energetica 20 (1972), № 2, стр. 49–53

---

ДК 621.316.722 :621.316.718.5

*Дрэган, Д.* и *Крецу, Г.*: **Определение параметров РАТ и РАВ при испытаниях группы в 100 Мвт ТЭС Галаци; их влияние на поведение группы в динамических режимах**

Испытаниями и с помощью ЭВМ рассматриваются параметры автоматического регулятора напряжения и автоматического регулятора скорости группы в 100 Мвт ТЭС Галаци.

Energetica 20 (1972), № 2, стр. 53–59

---

ДК 621.3.013.7

*Кырцинэ, Г. И.*: **Особенности ферорезонанса в трёхфазных системах**

Energetica 20 (1972), № 2, стр. 59–62

---

ДК 681.3 :621.31

*Потолеа, Е.* и *Тудосе, М.*: **Применение алгорифма симплекс в расчете установившегося режима электроэнергетической системы**

Излагается вопрос определения установившихся режимов работы электроэнергетических систем с помощью метода симплекс, то, что позволяет соответственно выбирать регулируемые значения и получать совместную систему уравнений.

Energetica 20 (1972), № 2, стр. 62–69

---

ДК 621.316.925.45.001.2

*Ивашку, К.*: **Исследование и расчеты, касающиеся уменьшения ненапряженной части реле направления**

В статье представляется тщательный расчет параметров установки (запоминающая цепь напряжения у реле направления), о которых существуют данные в литературе, но обычно только с качественной точки зрения.

Energetica 20 (1972), № 2, стр. 70–74

---

ДК 621.315.173

*Попеску, А.*: **Некоторые аспекты транспозиции воздушных электрических линий**

Автор представляет вопросы транспозиции или нетранспозиции воздушных электрических линий и влияние транспозиций на симметричность линии и на передачу высокочастотных знаков.

Energetica 20 (1972), № 2, стр. 74–81

---

## INHALTSVERZEICHNIS

DK 536.423

*Leca, A.* und *Luca, L.*: **Über kritische thermische Vorgänge in glatten und rauhen Kanälen**

Die Verfasser untersuchen die Bedigungen für das Auftreten sowie die Parameter des kritischen Siedens in glatten und rauhen Kanälen. Für 26 Betriebszustände mit kritischem Sieden bei Unterkühlung in rauhen Kanälen werden Versuchsergebnisse, im Verleich mit den Messergebnisse in glatten Kanälen angegeben. Die Schlussfolgerungen weisen auf die Vorteile der Anwendung rauher Oberflächen in Wärmetauschanlagen hin.

Energetica 20 (1972), H. 2, S. 49–53

---

DK 621.316.722 : 621.316.718.5

*Drăgan, D.* und *Creţu, Gh.*: **Ermittlung mit Hilfe von Versuchen der Betriebsparameter von automatischen Spannungs- und Drehzahlreglern eines 100-MW-Turbosatzes im Wärmekraftwerk Galaţi. Einfluss derselben auf das Verhalten der Maschine bei dynamischen Betriebszuständen**

Vermittels Versuchen und mit Einsatz eines elektronischen Rechners werden die Parameter automatischer Spannungs- und Drehzahlregler eines 100-MW-Satzes im Wärmekraftwerk Galaţi ermittelt.

Energetica 20 (1972), H. 2, S. 53–59

---

DK 621.013.7

*Cîrţină, Gh. I.*: **Die Eigentümlichkeiten der ferroresonanz in den Dreiphasenstromsystemen**

Energetica 20 (1972), H. 2, S. 59–62

---

DK 681.3 : 621.31

*Potolea, E.* un *Tudose, M.*: **Simplex-Algorithmus Anwendung bei Errechnung permanenter Betriebszustände in Verbundnetzen**

Es wird die Frage der Ermittlung stationärer Betriebszustände von Verbundnetzen an Hand des Simplexverfahrens erörtert. Auf diese Weise können regelbare Grössen entsprechend gewählt und ein kompatibles Gleichungssystem erhalten werden.

Energetica 20 (1972), H. 2, S. 62–69

---

DK 621.316.925.45.001.2

*Ivaşcu, C.*: **Untersuchungen und Berechnungen zwecks Minderung des Bereichs in dem Richtungs-Relais nicht ansprechen**

Es wird eine strenge Berechnung der Parameter einer Datenspeicherungsanlage für Spannungsverlauf bei Richtungs-Relais vorgenommen. Derartige Geräte sind im allgemeinen im Schrifttum bekannt, aber werden meistens jedoch nur qualitativ beschrieben.

Energetica 20 (1972), H. 2, S. 70–74

---

DK 621.315.173

*Popescu, A.*: **Über die Überkreuzung der Leiter bei Freileitungen**

Der Verfasser behandelt die Fragen der Überkreuzung der elektrischen Leiter bei Freileitungen und des Einflusses deren Vornahme oder Unterlassung auf die Symmetrisierung derselben sowie auf die Übertragung von Hochfrequenzmeldungen.

Energetica 20 (1972), H. 2, S. 74–81

## SOMMAIRE

CD 536.423

*Leca, A.* et *Luca, L.*: **Flux thermiques critiques dans des tubes lisses et rugueux**

Les auteurs examinent les conditions d'origine et les paramètres de la crise d'ébullition sur les surfaces lisses et rugueuses et présentent les résultats provenant de tests avec 26 régimes d'ébullition critiques avec sub-réfrigération dans des tubes rugueux comparés avec les mesures faites sur tubes lisses. Les conclusions plaident pour l'emploi de surfaces rugueuses dans les installations d'échange de chaleur des installations conventionelles et nucléaires.

Energetica 20 (1972), no. 2, p. 49–53

---

CD 621.316.722 : 621.316.718.5

*Drăgan, D.* et *Creţu, Gh.*: **Essais pour établir les paramètres du régulateur automatique de tension et du régulateur automatique de vitesse du groupe à 100 MW installé dans la centrale à production combinée chaleur/force de Galaţi; leur influence sur le comportement du groupe en cas de régimes dynamiques**

Essais et calculateur électronique servant à étudier les paramètres du régulateur automatique de tension et du régulateur automatique de vitesse du gropue à 100 MW de la centrale à production combinée chaleur/force de Galaţi.

Energetica 20 (1972), no. 2, p. 53–59

---

CD 621.3.013.7. 62–69

*Cîrţînă, Gh. I.*: **Les particularités de féroresonance dans les systèmes triphasés**

Energetica 20 (1972), no. 2, p. 59–62

---

CD 681.3 : 621.31

*Potolea, E.* et *Tudose, M.*: **Utilisation de l'algorithme simplex dans le calcul du régime permanent du réseau électrique**

Les auteurs traitent ici le problème de l'établissement des régimes stationaires de fonctionnement des réseaux électriques à l'aide de la méthode simplex, ce qui permet un choix adéquat des grandeurs réglables, c'est-à-dire d'obtenir un système d'équations compatible.

Energetica 20 (1972), no. 2, p. 62–69

---

CD 621.316.925.45.001.2

*Ivaşcu, C.*: **Etude et calculs concernant la réduction de la zone morte des relais directionnels**

L'article présente un calcul rigoureux des paramètres d'une installation (le circuit de mémoire de la tension dans les relais directionnels) généralement connus dans la littérature mais décrits seulement d'après leur qualité

Energetica 20 (1972), no. 2, p. 70–74

---

CD 621.315.173

*Popescu, A.*: **Quelques aspects soulevés par la transposition des lignes électriques aériennes**

L'auteur étudie les problèmes soulevés par la transposition ou la non-transposition des lignes électriques aériennes et de l'influence des transpositions sur la symétrisation de la ligne et la transmissions des signaux H. F.

Energetica 20 (1972), no. 2, p. 74–81

---

## CONTENTS

DC 536.423

*Leca, A.* and *Luca, L.*: **About critical thermal flows in smooth and rough tubes**

The authors investigate the origin and parameters of the boiling crisis on rough and smooth surface and present the results of tests with 26 critical boiling conditions under subcooling in rough tubes as compared to smooth ones. Conclusions plead for the use of rough surfaces in heat exchange areas from both conventional and nuclear falicities.

Energetica 20 (1972), nr. 2, p. 49–53

---

DC 621.316.722 : 621.316.718.5

*Drăgan, D.* and *Creţu, Gh.*: **The establishing, following tests, of the parameters on the automatic voltage governor and the automatic speed controller of the 100 MW unit installed at Galaţi heat and power plant; their influence on this unit's behaviour under transient conditions**

Tests and computer help to establish the parameters of the automatic voltage governor and the automatic speed controller of the 100 MW installed at Galaţi combined heat and power plant.

Energetica 2 (1972), nr. 2, p. 53–59

---

DC 621.013.7

*Cîrţînă, Gh. I.*: **Ferroresonance characteristics of three-phase systems**

Energetica 20 (1972), nr. 2. p. 59–62

---

DC 681.3 :621.31

*Potolea, E.* and *Tudose, M.*: **The utilization of the simplex algorithm when calculating the steady-state operation of the power system**

This article treats the question of steady-state operating conditions in power systems by means of the simplex method wich allows for an adequate choice of adjustable magnitudes i.e. a compatible system of equations.

Energetica 2 (1972), nr. 2. p. 62–69

---

DC 621.316.925.45.001.2.

*Ivaşcu, C.*: **Study and calculatiom regarding the reduction of the dead zone in directional relays**

This paper present a detailed calculation of the parameters of an installation (the voltage storage circuit in directional relays) otherwise well-known from the literature but only by quality descriptions.

Energetica 2 (1972), nr. 2. p. 70–74

---

DC 621.315.173

*Popescu, A.*: **Some aspects regarding the transposition of overhead lines**

The author raises some questions put by transposition of non-transposition of overhead power lines and the influence of transpositions on the transmission of h.f. signals.

Energetica 20 (1972), nr. 2, p. 74–81

---

# Fluxurile termice critice în canale cu suprafețe netede și rugoase

Ing. L. Luca și ing. A. Leca*)

Este cunoscut faptul că apariția crizei fierberii (burnout) rezultă din condiții foarte complexe, datorită interdependenței dintre transferul de căldură și hidrodinamica canalului considerat.

Există două categorii de parametri care descriu criza fierberii. Prima categorie se referă la parametrii funcționali ai sistemului în fierbere, care sînt prestabiliți, și anume: presiunea în sistem, debitul masic specific, geometria canalului și temperatura fluidului la intrarea în canal. Pe baza acestora se pot deduce relații utile în calculul ingineresc, fără ca ele să descrie însă și mecanismul procesului. A doua categorie se referă la microstructura sistemului canal-fluid. Astfel, profilul vitezei fluidului în vecinătatea peretului, conținutul de vapori, proprietățile fluidului privind transmiterea căldurii, starea suprafeței de schimb de căldură etc. reprezintă elemente ce pot fi utilizate la calculul forțelor care acționează asupra bulelor de abur în procesul de fierbere, în consecință obținîndu-se informații privind mecanismul crizei.

Cunoașterea precisă a condițiilor de apariție a regimului critic de fierbere are o deosebită importanță la proiectarea instalațiilor schimbătoare de căldură care funcționează cu fluxuri termice ridicate. Astfel, în cazul reactoarelor nucleare de putere, valoarea coborîtă a fluxurilor critice constituie principalul factor care limitează creșterea puterii specifice a zonei active. Probleme similare se pun și pentru anumite zone de transfer de căldură din cazanele clasice de abur ale centralelor termoelectrice.

În felul acesta se dovedește foarte utilă orice măsură tehnică, avînd o justificare economică, capabilă să ridice nivelul fluxurilor critice.

Cercetările din ultimii ani atrag atenția asupra îmbunătățirii condițiilor de transfer termic prin practicarea pe suprafețele de schimb de căldură a unor profile speciale în scopul creării de rugozitate artificială. La analizarea eficienței acestei metode trebuie studiate consecințele ei multiple [1]. Astfel, suprafețele rugoase conduc la coeficienți de frecare mai ridicați decît suprafețele netede, respectiv la mărirea energiei de pompare a fluidului. Pe de altă parte, însă, se mărește stabilitatea termică și hidraulică în funcționarea instalației și, ceea ce este mai important, cresc coeficienții de convecție și valoarea fluxurilor termice critice.

Cercetările noastre s-au axat pe studiul influenței rugozității artificiale asupra fluxurilor critice, în zona fierberii la subrăcire, mai puțin tratată în literatura de specialitate.

Pentru canale netede, Tong [2] consideră că la subrăcire criza fierberii începe printr-o creștere mare a temperaturii peretelui canalului, ceea ce conduce la formarea unui strat supraîncălzit de lichid sub un strat de bule (fig. 1). Acest strat de bule, datorită viscozității sale mari, constituie un ecran (de natura unei rezistențe termice) care frînează transferul de căldură către lichidul din zona centrală a canalului. În aceste condiții, răcirea peretelui trebuie practic asigurată de stratul de lichid dintre perete și stratul de bule. Este evident că întîrzierea formării stratului vîscos de bule are drept efect mărirea fluxurilor critice. O metodă folosită în acest scop o constituie rugozitatea artificială, care produce o turbulență superficială

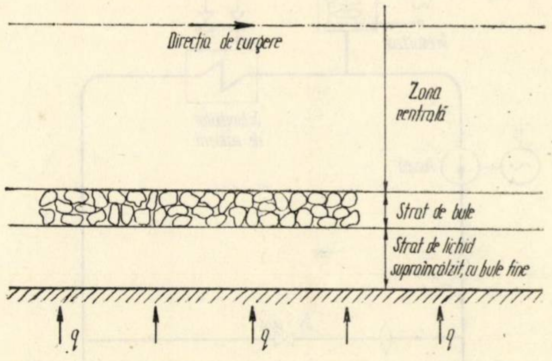



Fig. 1. Modelul fizic al crizei fierberii la subrăcire pentru peretele neted [2].

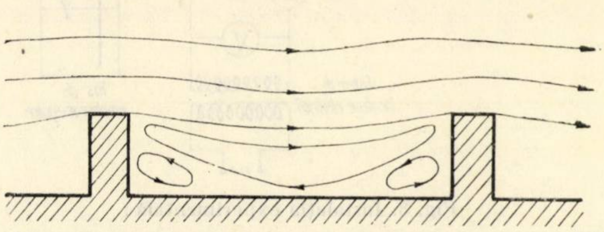


Fig. 2. Modelul curgerii peste nervuri transversale.

*) Ladislau Luca este inginer la Institutul pentru tehnologii nucleare; Aureliu Leca este șef de lucrări la Institutul politehnic București.

sporită [3]. Rugozitatea practicată artificial pe peretele suprafeţelor de schimb de căldură poate avea diferite forme : nervuri transversale sau elicoidale, şanţuri cu diferite profile etc.

De exemplu, în cazul canalelor prevăzute cu nervuri, structura curgerii se modifică faţă de canalul neted în sensul apariţiei unor zone cu turbulenţă foarte intensă în vecinătatea pereţilor, aşa cum se arată în figura 2 [4]. Acest lucru îmbunătăţeşte considerabil transferul de masă şi de energie către zona centrală de curgere. Prin aplicarea pe peretele canalului a unui flux termic, la atingerea temperaturii de saturaţie începe vaporizarea locală, însă bulele nu vor mai fi dispuse sub formă de strat, ca în cazul precedent, ci vor fi ejectate către zona centrală. Pentru atingerea condiţiilor de ,,burnout'' este necesar, deci, un flux termic mai

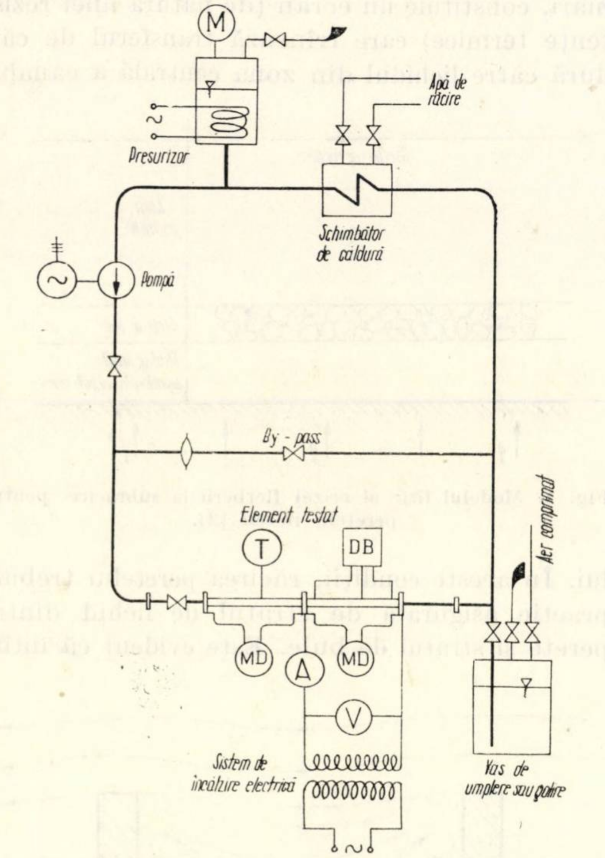



Fig. 3. Instalaţia experimentală :

*MD* — manometru diferenţial ; *T* — termocuplu ; *DB* — detector de burnout ; *A* — ampermetru ; *V* — voltmetru ; *M* — manometru.

ridicat, capabil să formeze o cantitate mai mare de vapori.

Justeţea ipotezei prezentate poate fi confirmată experimental de măsurători care să pună în evidenţă creşterea fluxurilor critice, a titlului real şi a stabilităţii termice şi hidraulice prin utilizarea rugozităţii artificiale.

**Partea experimentală şi analiza rezultatelor**

Măsurătorile experimentale au fost efectuate pe bucla termică existentă la Institutul de fizică atomică, descrisă într-o lucrare anterioară [5] şi modificată în mod corespunzător cercetării (fig. 3). Poziţia elementului experimental, avînd lungimea de 200 mm şi diametrul de 6 ×1 mm, a fost orizontală. Rugozitatea artificială s-a realizat cu ajutorul unei spirale din sîrmă de oţel cu diametrul de 0,2 mm, destinsă pe suprafaţa interioară a elementului încercat. Dimensiunile stabilite rezultă din figura 4. Metoda de lucru şi de prelucrare a datelor a fost similară cu cea descrisă în lucrările [5] şi [6]. Fluidul utilizat a fost apa distilată.

*Tabelul 1*

**Rezultatele experimentale pentru elementul rugos**

| Nr. crt. | $q$, W/cm² | $p$, bari | $t_i$, °C | $G$, kg/m². s | $x_t$, % |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 153 | 4,4 | 22,25 | 922,61 | −8,43 |
| 2 | 137,7 | 4,35 | 49,5 | 970,66 | −5,4 |
| 3 | 142,2 | 4,4 | 45,5 | 1 016,5 | −6,44 |
| 4 | 142,2 | 4,35 | 45 | 993,98 | −6,15 |
| 5 | 132,6 | 4,3 | 49,5 | 941,8 | −5,36 |
| 6 | 102,4 | 4,3 | 72,25 | 1 030,6 | −4,97 |
| 7 | 370 | 4,3 | 20,05 | 1 777,8 | −4,67 |
| 8 | 319,3 | 4,3 | 37,75 | 1 785 | −4,41 |
| 9 | 254,4 | 4,3 | 55,75 | 1 797,4 | −4,11 |
| 10 | 202,7 | 4,3 | 76 | 1 860 | −3,34 |
| 11 | 163,2 | 4,2 | 80,25 | 1 870 | −4,45 |
| 12 | 163,2 | 4,3 | 81,75 | 1 935,2 | −4,6 |
| 13 | 145 | 4,3 | 85,75 | 1 872 | −4,49 |
| 14 | 120,2 | 4,35 | 97,75 | 1 902,1 | −3,6 |
| 15 | 101,6 | 4,45 | 104,5 | 1 908,6 | −3,4 |
| 16 | 75,2 | 4,4 | 113 | 1 977,7 | −3,13 |
| 17 | 493,8 | 4,25 | 33,7 | 2 613,3 | −3,75 |
| 18 | 448 | 4,3 | 45 | 2 639,7 | −3,49 |
| 19 | 380,5 | 4,25 | 59,5 | 2 654,4 | −3,12 |
| 20 | 306,8 | 4,35 | 79,3 | 2 719 | −2,39 |
| 21 | 241,9 | 4,33 | 92 | 2 716 | −2,17 |
| 22 | 164,3 | 4,15 | 113,5 | 2 920,4 | −0,85 |
| 23 | 163,8 | 4,3 | 104,75 | 2 816,4 | −2,64 |
| 24 | 135,5 | 4,2 | 109,5 | 2 812,4 | −2,51 |
| 25 | 136 | 4,3 | 110,5 | 2 793,5 | −2,46 |
| 26 | 500,6 | 4,33 | 61,7 | 3 459,8 | −2,68 |

Limitele de variaţie a parametrilor pentru elementul rugos au fost următoarele :

— presiunea de lucru, $p = 4{,}15 \div 4{,}45$ bari ;
— debitul masic specific, $G_{sp} = 922{,}61 \div 3459{,}8$ kg/m². s ;

— subrăcirea la intrarea în element, $\Delta t = 34,2 \div 124,95$ grd ;
— fluxul termic, $q = 75,2 \div 500,6$ W/cm²;
— titlul termodinamic, $x_i = -0,85 \div -8,43\%$.

Rezultatele obţinute sînt date în tabelul 1, în care $t_i$ reprezintă temperatura fluidului la intrarea în element.

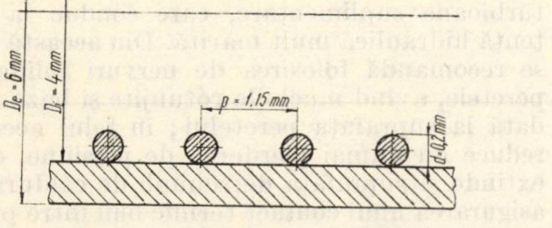



Fig. 4. Caracteristicile geometrice ale suprafeţei rugoase încercate.

Pentru compararea performanţelor elementului rugos şi neted, au fost folosite, pentru acesta din urmă, rezultatele măsurătorilor din [7], efectuate în canale netede orizontale, reţinîndu-se aceleaşi intervale de variaţie a parametrilor ca şi cele indicate mai sus pentru elementul rugos.

În diagrama din figura 5 s-a reprezentat variaţia fluxului termic critic cu debitul maxim specific pentru diverse temperaturi ale apei la intrarea în elementul experimental.

Se observă că fluxurile critice sînt mai ridicate la elementul rugos decît la cel neted, diferenţele crescînd pe măsură ce debitul masic specific se măreşte. În intervalele considerate pentru variaţia parametrilor sistemului, elementul rugos prezintă o majorare a fluxului termic cu pînă la 25% faţă de elementul neted.

Alura curbelor corespunzătoare elementului neted indică o stabilitate redusă a sistemului; în punctul extrem al curbelor, funcţionarea instalaţiei devine instabilă. În cazul elementului

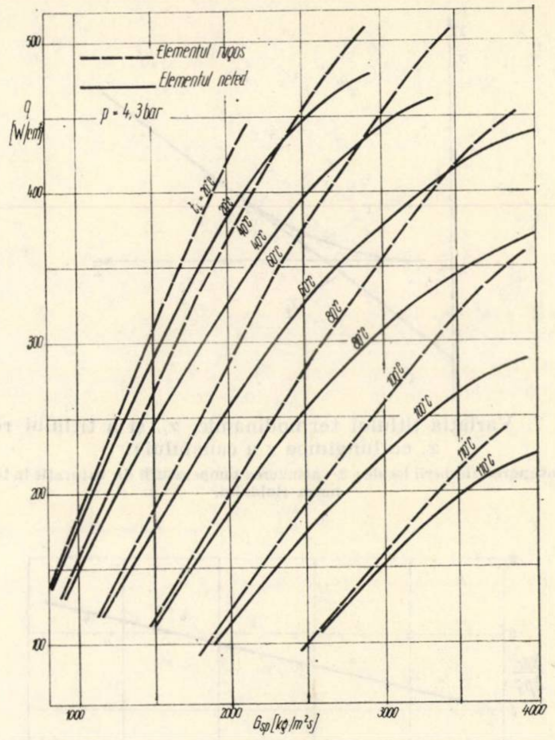



Fig. 5. Variaţia fluxului termic critic la elementul neted şi rugos.

rugos, variaţia pantei curbelor este mult mai mică în comparaţie cu elementul neted, ceea ce denotă o mai bună stabilitate.

Pentru compararea conţinutului de abur s-au trasat în figura 6, pentru cele două cazuri,

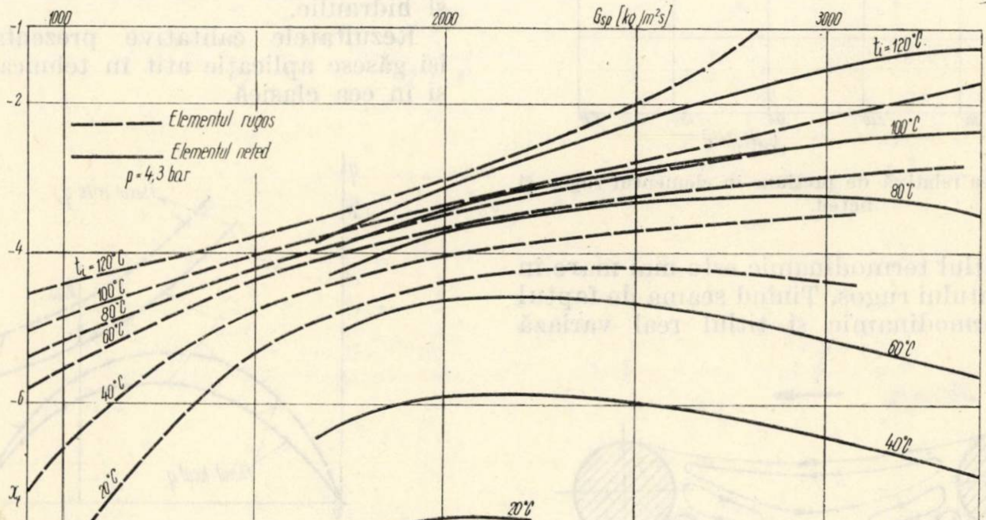



Fig. 6. Variaţia titlului termodinamic la fierberea critică la elementul neted şi rugos.

curbele de variaţie a titlului termodinamic la „burnout" în funcţie de debitul maxim specific, la temperaturi de intrare constante. Se constată că pentru acelaşi debit şi temperatură

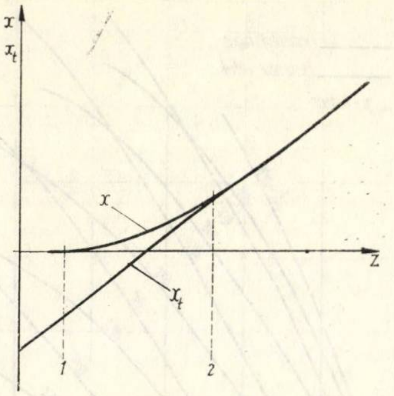



Fig. 7. Variaţia titlului termodinamic, $x_t$, şi a titlului real, $x$, cu lungimea $z$ a canalului:

1 – începerea fierberii locale; 2 – atingerea temperaturii de saturaţie în toată masa fluidului.

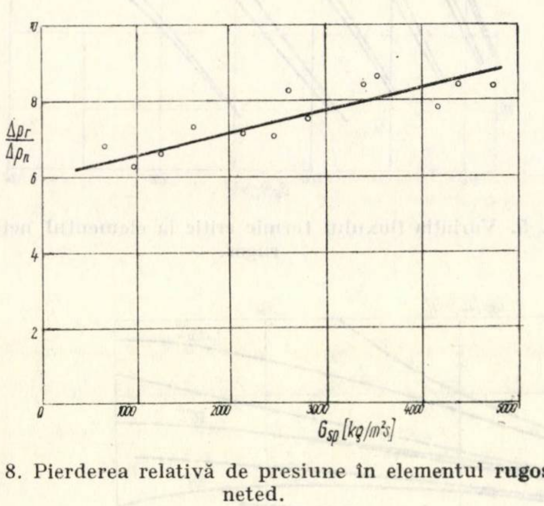



Fig. 8. Pierderea relativă de presiune în elementul rugos şi neted.

la intrare, titlul termodinamic este mai mare în cazul elementului rugos. Ţinînd seama de faptul că titlul termodinamic şi titlul real variază

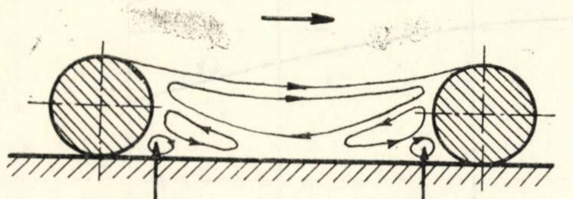



Fig. 9. Modelul curgerii peste rugozitatea artificială încercată.

proporţional (fig. 7), se poate trage concluzia că ipoteza făcută anterior este corectă, titlul real fiind mai mare în cazul elementului rugos faţă de cel neted.

În figura 8 s-a reprezentat variaţia raportului dintre pierderile de presiune pe elementul rugos $\Delta p_r$ şi pierderile de presiune pe elementul neted $\Delta p_n$, în funcţie de debitul masic specific. Valorile mari ale raportului $\Delta p_r/\Delta p_n$ se datoresc profilului rugozităţii artificiale adoptat în experienţa de faţă. În vecinătatea contactului dintre spirala de sîrmă şi peretele canalului (zonele *a* şi *b* din fig. 9) se formează turbioane suplimentare, care conduc la rezistenţă hidraulică mult mărită. Din această cauză se recomandă folosirea de nervuri solidare cu peretele, avînd muchiile rotunjite şi baza racordată la suprafaţa peretelui; în felul acesta se reduce nu numai pierderea de presiune, dar se extinde şi suprafaţa de schimb de căldură prin asigurarea unui contact termic bun între promotorul de turbulenţă şi perete.

**Concluzii**

1. Fluxurile termice critice sînt apreciabil mai ridicate la suprafeţele de schimb de căldură prevăzute cu rugozitate artificială în comparaţie cu suprafeţele netede.

2. Suprafeţele rugoase produc pierderi de presiune mai mari decît suprafeţele netede. Pentru reducerea cotei din energia de pompare a sistemului care revine elementelor rugoase se poate prevedea o rugozare parţială a suprafeţei, şi anume în zonele cele mai solicitate termic [8]. Cercetările viitoare trebuie să se concentreze asupra determinării profilului de rugozitate optim din punct de vedere termic şi hidraulic.

Rezultatele calitative prezentate mai sus îşi găsesc aplicaţie atît în tehnica nucleară cît şi în cea clasică.

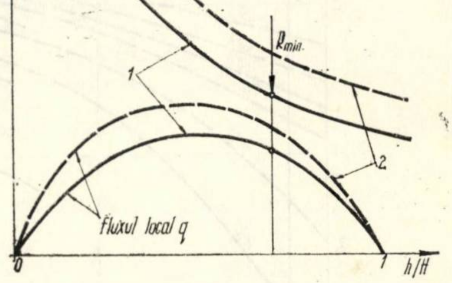



Fig. 10. Variaţia raportului $R = q_{cr}/q$ cu lungimea zonei active $H$:

1 – pentru suprafeţe netede; 2 – pentru suprafeţe rugoase.

În cazul reactoarelor nucleare energetice, valoarea fluxului termic critic acţionează ca un element limitativ. Un criteriu tipic de proiectare a reactoarelor nucleare cu apă sub presiune este acela ca valoarea minimă a raportului $R = q_{cr}/q$, dintre fluxul termic critic şi fluxul

local, să nu coboare în nici un punct din zona activă sub valoarea de 1,30 ($R_{min} \geqslant 1{,}30$) [9]. Se poate obţine o creştere a puterii termice a

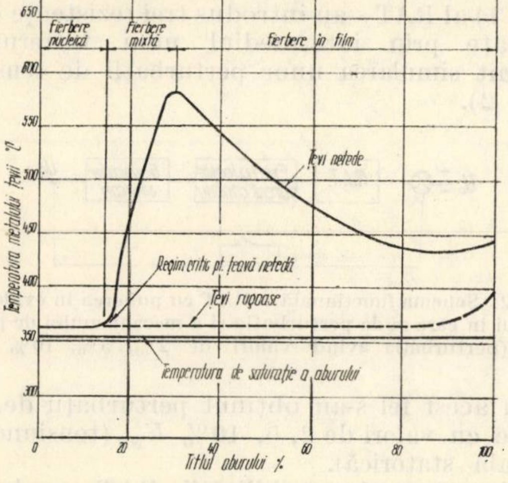



Fig. 11. Comparaţia performanţelor ţevilor netede şi rugoase.

reactorului şi evitarea arderii elementelor combustibile prin utilizarea rugozităţii artificiale (fig. 10).

În cazanele de abur cu circulaţie forţată directă şi în unele cazane cu circulaţie naturală, în zonele cu fluxuri termice ridicate, au început să se folosească recent [10] ţevi cu suprafaţa interioară rugoasă, pentru a preveni întreruperea fierberii nucleice. În figura 11 se face o comparaţie între ţevile netede şi rugoase; acestea din urmă permit obţinerea unor tituri mai mari ale aburului în ţevile vaporizatoare şi o reducere apreciabilă a costului sistemului.

**Bibliografie**


[1] L e c a, A. *Consideraţii asupra folosirii suprafeţelor rugoase în îmbunătăţirea performanţelor schimbătoarelor de căldură.* Energetica, *19*, nr. 2, 1971, p. 85–89.

[2] T o n g, L. S. *Boiling Heat Transfer and Two-Phase Flow.* John Wiley, New York, 1966.

[3] D u r a n d, W. S. şi M i r s h a k, S. *Roughening of Heat Transfer Surfaces as a Method of Increasing Heat Flux at Burnout.* DPST-60-284, 1959.

[4] W e b b, R. L., E c k e r t, E. R. şi G o l d s t e i n, R. J. *Heat Transfer and Friction in Tubes with Repeated-Rib Rouhgness.* Int. J. Heat Mass Transfer, *14*, nr. 4, 1971, p. 601–617.

[5] L u c a, L., M i h ă i l ă, A., D o b r e s c u, C., P a n ă, M. şi C r u d u, D. *Fluxuri termice critice la fierberea subrăcită în canale verticale.* Energetica, *19*, nr. 7, 1971, p. 340–345.

[6] M i h ă i l ă, A., D o b r e s c u, C., L u c a, L. şi P a n ă, M. *Burnout Heat Fluxes at Subcooled Boiling.* TR-58, 1970.

[7] L u c a, L., M i h ă i l ă, A., P a n ă, M., D o b r e s c u, C. şi C r u d u, D. *Fluxuri termice critice la fierberea subrăcită în canale verticale şi orizontale.* Comunicare la sesiunea jubiliară IFA, cu prilejul semicentenarului P.C.R.

[8] M e l e s e, G. B. *Improvement in Thermal Performance of Nuclear Reactor by Local Changes in Surface Heat Transfer Properties.* GA – 4619, 1963.

[9] T o n g, L. S. *Heat Transfer in Water-Cooled Nuclear Reactors.* Nuclear Engineering and Design, vol. 6, 1967, p. 301–324.

[10] B a g l e y, R. *Experience with Large Boilers in Europe.* Raport nr. 4. Int. Meeting on Modern Electric Power Stations, Liège, 11—15 mai 1970.



**(Articol intrat în redacţie la 27 octombrie 1971)**


# Determinarea din probe a parametrilor RAT şi RAV la grupul de 100 MW de la CET Galaţi. Influenţa lor asupra comportării grupului în regimuri dinamice


Ing. **D. Drăgan** şi
ing. **Gh. Creţu***)


La CET Galaţi, echipată cu 2 grupuri turbogeneratoare (de 60 şi 100 MW), s-au efectuat o serie de probe legate de comportarea grupurilor în diferite regimuri dinamice şi de modul de alimentare a consumatorilor metalurgici racordaţi la barele acestor grupuri, în timpul diverselor perturbaţii ivite în reţelele electrice. (Descrierea acestor probe va fi făcută detaliat într-un articol ulterior.)

Printre obiectivele programului de probe efectuate la grupul de 100 MW de la CET Galaţi au figurat şi măsurătorile legate de determinarea funcţiilor de transfer ale regulatorului automat de tensiune (RAT) şi ale regulatorului automat de viteză (RAV).

După determinarea reală a acestor parametri s-au simulat pe calculatorul cifric probele efectuate şi s-au comparat rezultatele experimentale cu cele obţinute prin calcule.

## 1. Determinarea parametrilor RAT din probele efectuate la grupul de 100 MW de la CET Galaţi

*Sistemul de excitaţie al grupului de 100 MW*

Din figura 1 se observă că, la aceste grupuri, alimentarea în forţă a sistemului de excitaţie se realizează printr-o maşină de curent continuu, iar partea de comandă a sistemului de excitaţie prin intermediul unui regulator automat de tensiune de tip EPA-305.


*) Dumitru Drăgan şi Gheorghe Creţu sînt ingineri la ISPE.

Mașina de curent continuu are excitația paralelă. O particularitate a acestui sistem de excitație o constituie existența compundajului în forță, ceea ce asigură obținerea unui efect

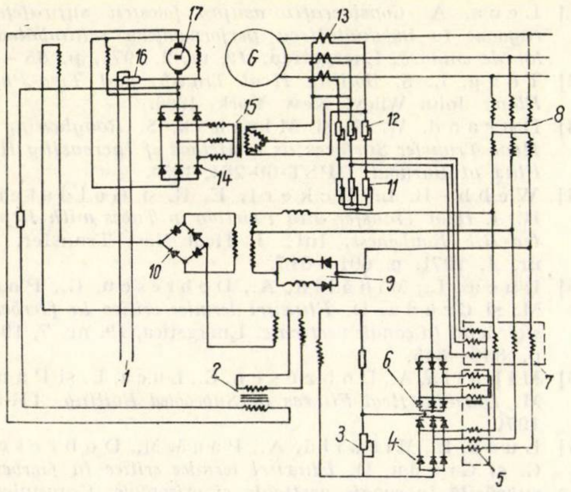


Fig. 1. Schema părții de forță și de comandă (RAT) a sistemului de excitație al grupului de 100 MW :

1 – semnal de forțare a excitației; 2 – transformator de stabilizare; 3 – reostat de corecție; 4 – punte redresoare; 5 – transformator de măsură; 6 – punte redresoare; 7 – transformator intermediar; 8 – transformator de tensiune; 9 – amplificator magnetic; 10 – punte redresoare; 11 – rezistențe pentru stabilirea statismului; 12 – reostat de compoundare; 13 – transformator de curent; 14 – punte redresoare; 15 – transformator de compoundare; 16 – reostat de excitație; 17 – mașină de curent continuu.

de autoreglaj (dependența directă a tensiunii de excitație a generatorului sincron de curentul statoric al generatorului sincron).

Rolul RAT este preluat în această schemă de corectorul electromagnetic, constituit dintr-un element de măsură și un element de forță. Elementul de măsură este alcătuit dintr-un transformator trifazat saturat, al cărui curent primar variază neliniar cu tensiunea generatorului sincron ($U_G$) și a cărui tensiune secundară variază liniar cu $U_G$. Primarul și secundarul acestui trafo debitează pe două punți de redresare în montaj opoziție. Diferența dintre cei doi curenți acționeză pe înfășurarea de comandă a amplificatorului magnetic. Elementul de forță este constituit de amplificatorul magnetic. Prin intermediul transformatorului de corecție și al unei celule de redresare, amplificatorul magnetic acționează asupra mașinii de curent continuu (acțiunea corectorului electromagnetic se exercită prin intermediul unei înfășurări de excitație independentă a mașinii de curent continuu).

Pentru obținerea unei funcționări stabile (și, eventual, pentru a face parametrul RAT mai rapid sau mai lent) se utilizează o legătură de stabilizare inversă și elastică (prin intermediul transformatorului de stabilizare).

Forțarea excitației se realizează prin intermediul a două relee de tensiune minimă, care comandă în final un contactor ce scurtcircuitează o parte din reostatul de excitație.

*Mecanismul de desfășurare a probelor în sistemul de excitație*

a) Probe cu generatorul sincron în gol

La ieșirea din transformatorul de tensiune (fig. 1) al RAT s-au introdus trei rezistențe care, șuntate prin intermediul unui întreruptor, permit simularea unor perturbații de tensiune (fig. 2).

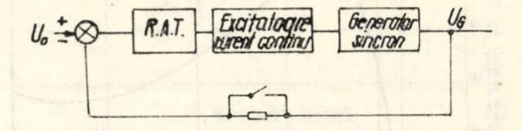



Fig. 2. Schema funcțională a RAT cu punerea în evidență a locului în care se dă perturbația și a mecanismului de producere (perturbația avînd valori de 2%, 5%, 10% $U_{NG}$).

În acest fel s-au obținut perturbații de tensiune cu valori de 2, 5, 10% $U_{NG}$ (tensiune nominală statorică).

Din cauza insensibilității RAT, proba cu perturbații de 2% $U_{NG}$ a fost neconcludentă, variația tensiunii de excitație a generatorului sincron fiind aproape insesizabilă.

De asemenea, și pentru perturbațiile de 5% $U_{NG}$ (fig. 3) se remarcă zone întregi în care RAT a fost insensibil (variația maximă a tensiunii de excitație $U_e$ este de 9 V, iar durata procesului tranzitoriu este de circa 6 s).

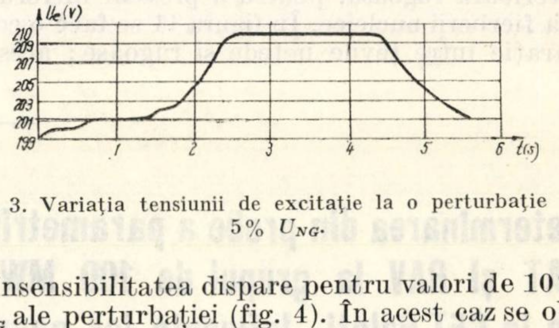



Fig. 3. Variația tensiunii de excitație la o perturbație de 5% $U_{NG}$.

Insensibilitatea dispare pentru valori de 10% $U_{NG}$ ale perturbației (fig. 4). În acest caz se observă o variație de 23 V (11,8%) a $U_e$.

Această înregistrare (perturbație 10% $U_{NG}$) a servit la deducerea funcției de transfer a RAT la perturbații mici.

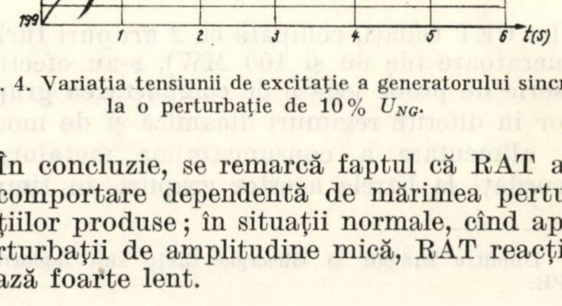



Fig. 4. Variația tensiunii de excitație a generatorului sincron la o perturbație de 10% $U_{NG}$.

În concluzie, se remarcă faptul că RAT are o comportare dependentă de mărimea perturbațiilor produse; în situații normale, cînd apar perturbații de amplitudine mică, RAT reacționează foarte lent.

b) Probe cu generatorul sincron în sarcină

În cazul RAT moderne (trazistorizate), forțarea excitației se realizează prin intermediul acelorași elemente ca în cazul funcționării pentru perturbații mici și, în esență, în expresia funcției de transfer a ansamblului RAT +

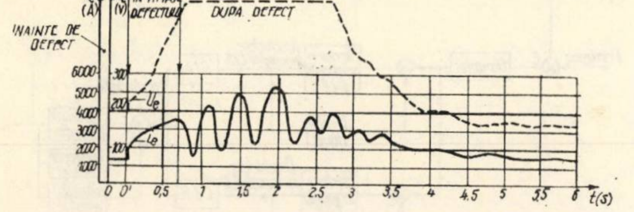


Fig. 5. Variația tensiunii și a curentului de excitație al generatorului de 100 MW în timpul probei de scurtcircuit, fără separare de sistem.

excitație se modifică numai coeficientul de amplificare (care de obicei se dublează, majoritatea sistemelor de excitație moderne avînd plafonul maxim egal cu 2).

Cum în cazul acestui sistem mai vechi forțarea excitației se face șuntînd o parte din elementele RAT, care funcționează în cazul perturbațiilor de amplitudine mică, în consecință se va modifica esențial și expresia funcției de transfer la perturbații mari (în cazul nostru, scurtcircuite).

Deci, sistemul de reglare automată a tensiunii are o comportare adaptivă în raport cu amplitudinea perturbațiilor. Pentru perturbații de amplitudine mică (2, 5, 10% $U_{NG}$) RAT este foarte lent, iar la scurtcircuite apropiate electric devine destul de rapid. La perturbații mari (scurtcircuite) tensiunea de excitație ajunge la plafon după 0,75 s, iar viteza de creștere a $U_e$ ajunge la valoarea de 400 V/s (fig. 5).

## 2. Determinarea funcției de transfer a RAT

Avînd în vedere cele spuse la punctul 1, pentru determinarea funcției de transfer a RAT s-au ales numai rezultatele obținute din perturbații de 10% $U_{NG}$ și scurtcircuit, ținînd cont de faptul că în celelalte situații (cu perturbații de 2 și 5%), regulatorul fiind foarte lent, rezultatele nu sînt semnificative.

*Determinarea funcției de transfer a ansamblului RAT + excitație pentru perturbații mici (10%)*

Pentru determinarea funcției de transfer a fost folosită metoda de determinare prin studiul parametric, folosind drept criteriu identitatea răspunsurilor tranzitorii ale instalației reale (fig. 4) cu a modelului analogic (fig. 6).

S-a modelat pe calculatorul analogic MEDA bucla de reglare automată a tensiunii turbogeneratorului la mers în gol (fig. 6a).

Avînd în vedere că $T_{do}$ = ct, s-au variat pe modelul analogic $T_{r1}$, $T_{r2}$ și $K_r$ pînă s-a ajuns la minimul erorii în raport cu curba reală.

Parametrii funcției de transfer care apropie cel mai mult de realitate răspunsul $U_e$ $(t)$ sînt :

$$T_{r1} = 2{,}4 \text{ s}$$
$$T_{r2} = 0{,}5 \text{ s}$$
$$K_r = 6$$

în care

$T_{r1}$ și $T_{r2}$ sînt constantele de timp ale ansamblului RAT + excitație ;

$K_r$ — coeficientul de amplificare al ansamblului RAT + excitație.

Acest set de valori confirmă faptul că la perturbații mici sistemul de excitație are o comportare lentă.

*Determinarea funcției de transfer a ansamblului RAT + execitație pentru perturbații mari (peste 20% $U_{NG}$)*

Acest caz solicită un interes egal cu cel precedent, funcția de transfer fiind folosită pentru simularea regimurilor dinamice pe calculator cifric. Determinarea ei exactă implică difi-

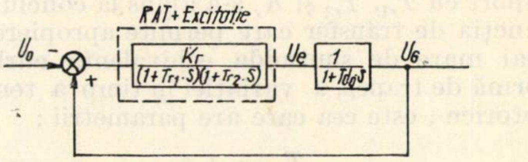


Fig. 6. Modelul matematic al buclei de reglare a tensiunii turbogeneratorului.

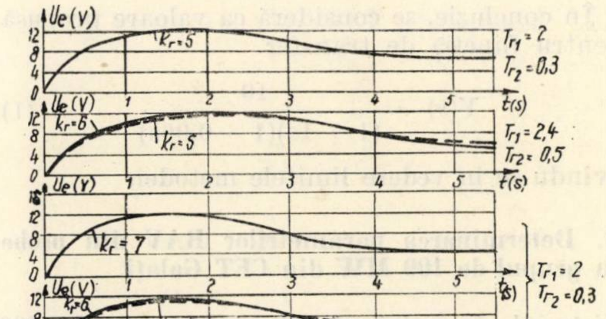


Fig. 6a. Variația $U_e$ pentru diferiți parametri ai funcției de transfer a RAT.

cultăți considerabile, avînd în vedere necunoașterea funcției de transfer a generatorului sincron ; la mers în gol această funcție de transfer este invariabilă, avînd expresia

$$Y(s) = \frac{1}{1 + T_{d0} \cdot S}$$

În plus, apariţia fenomenelor neliniare (fig. 5) introduce dificultăţi suplimentare. De aceea s-a folosit aceeaşi metodă simplă ca în cazul precedent, avîndu-se în vedere faptul că fenomenul neliniar a fost aproximat printr-o sinusoidă echivalentă.

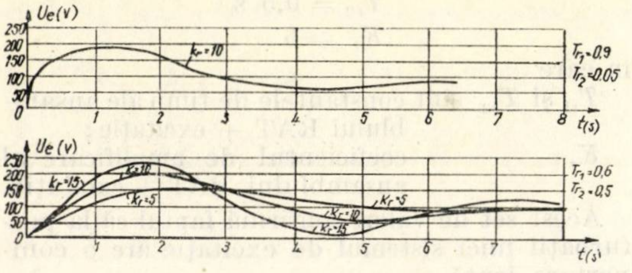


Fig. 7. Variaţia $U_e$ pentru diferiţi parametri ai funcţiei de transfer a RAT.

Evident, în determinarea funcţiei de transfer a ansamblului RAT + excitaţie pentru perturbaţii mari nu se poate conta pe precizia mare din cazul precedent.

Din studiul parametric (fig. 7) efectuat în raport cu $T_{r1}$, $T_{r2}$ şi $K_r$ s-a ajuns la concluzia că funcţia de transfer care permite apropierea cea mai mare de sinusoida echivalentă curbei în formă de trapez, a variaţiei în timp a tensiunii rotorice, este cea care are parametrii:

$$T_{r1} = 1 \text{ s}$$
$$T_{r2} = 0{,}06 \text{ s}$$
$$K_r = 10$$

În concluzie, se consideră ca valoare propusă pentru funcţia de transfer

$$Y(s) = \frac{10}{(1 + 1s)(1 + 0{,}06s)} \quad (1)$$

avîndu-se în vedere limitele metodei.

## 3. Determinarea parametrilor RAV din probe la grupul de 100 MW din CET Galaţi

*Sistemul de reglaj al vitezei turbinei VT-100*

Sistemul de reglaj automat al turaţiei turbinei VT-100 constituie un sistem de reglare automată multiintrări, avînd ca parametri de intrare turaţia şi presiunea aburului la priză (dat fiind că grupul lucrează în termoficare).

Cum în cazul de faţă reglarea presiunii aburului la priză nu interesează, se prezintă o schemă structurală a RAV, care ţine seamă numai de canalul de intrare reprezentat de turaţie (fig. 8).

Consemnul este realizat prin intermediul unui sincronizator. Comparat cu un semnal proporţional cu turaţia reală, se obţine eroarea ε, care după ce este limitată acţionează simultan asupra distribuitorului şi asupra servomotorului corpului de joasă presiune şi, respectiv, de înaltă presiune.

Ele dau cele două componente ale cuplului activ total al turbinei.

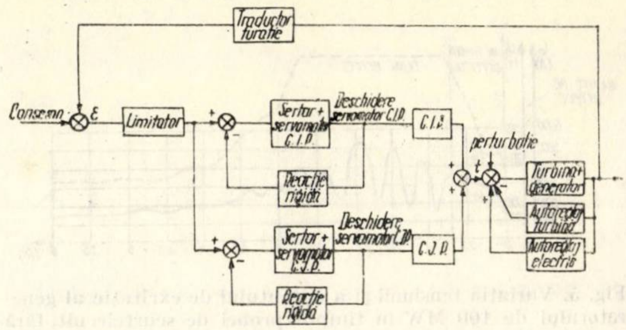


Fig. 8. Schema structurală a sistemului de reglare automată a vitezei pentru turbina VT-100.

*Mărimi înregistrate*

Dat fiind obiectivul propus (determinarea funcţiei de transfer a RAV), se vor menţiona numai mărimile din sistemul de reglaj automat al vitezei, utile acestui scop: turaţia, deplasarea servomotorului CIP, deplasarea servomotorului CJP (fig. 9).

Înregistrările s-au făcut atît pentru aruncări de sarcină (în regim de condensaţie şi termoficare) cît şi pentru proba de scurtcircuit (cu şi fără separare de sistem).

*Determinarea funcţiei de transfer a RAV*

Funcţia de transfer a RAV, utilizată în programele pe calculator cifric elaborate în ISPE, are forma:

$$Y_{RAV}(s) = \frac{1 + ms}{\sigma(1 + T_v s)} = \frac{1 + ms}{\sigma + \tau s} = \frac{\Delta Pm}{\Delta n} \quad (2)$$

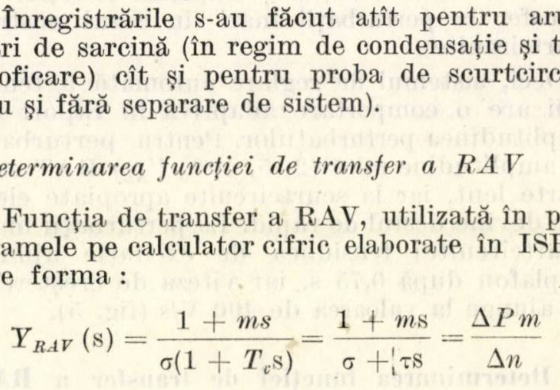


Fig. 9. Variaţia turaţiei şi deplasarea servomotoarelor CIP şi CJP la aruncarea de sarcină de la 64 MW la zero.

în care

$m$ este dozajul accelerometric;
$\sigma$ — statismul RAV;
$T_v$ — constanta de timp a RAV;
$\tau = \sigma . T_v$ — promptitudinea RAV;
$\Delta Pm$ — variaţia puterii turbinei, unităţi relative (u.r.);
$\Delta n$ — variaţia turaţiei, u.r.

Pentru determinarea funcţiei de transfer sub forma (2) s-a modelat pe calculatorul analogic MEDA bucla de reglaj automat a vitezei. Modelul matematic utilizat pentru întreaga buclă de reglaj este prezentat în figura 10, în

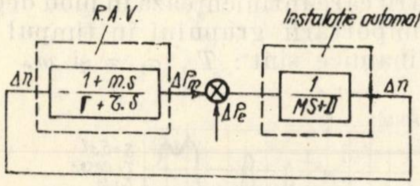



Fig. 10. Schema structurală a sistemului de reglare automată a vitezei.

care apar, în plus faţă de notaţiile precedente, următoarele :

$\Delta P_e$ — variaţia puterii electrice (servind drept perturbaţie în sistemul de reglare al vitezei) ;

$M$ — constanta de inerţie a turboagregatului ;

$D$ — autoreglajul cumulat al turbinei şi al sarcinii electrice.

S-au emis următoarele ipoteze :

$$M = 7{,}9 \text{ s}$$

$$D = 0{,}5$$

pentru toate situaţiile parametrice cu şi fără dozaj accelerometric.

Pentru $m = 1$ rezultatele sînt reprezentate în figura 11 *a* ; pentru $m = 0$ curbele respective sînt reprezentate în figura 11 *b*.

**Observaţie** : Compararea variaţiei de frecvenţă şi a variaţiei puterii mecanice s-a făcut cu variaţiile reale obţinute din prelucrarea oscilogramelor.

Din aceste curbe se deduc următoarele :

— În ipoteza în care $m = 1$ apare o amortizare rapidă a oscilaţiilor, micşorînd timpul de atingere a primului maxim (efect derivativ concretizat prin prezenţa saltului în origine şi a unui regim tranzitoriu mult stabilizat, ce ne îndepărtează de situaţia reală).

— În ipoteza în care $m = 0$ se remarcă o apropiere de rezultatele experimentale pentru valori mici ale $T_v$ ($T_v = 1$ ; 2 s)

Pentru $T_v = 1$ s,

$$Y_{RAV}(s) = \frac{1}{0{,}053\,(1 + 1s)} = \frac{1}{0{,}053 + 0{,}053\ s}$$

— Se verifică prin modelarea făcută că atunci cînd RAV este mai lent ($T_v$ mai mare) sistemul de reglare automată al vitezei este mai oscilant.

*Influenţa diferiţilor parametri ai RAV şi RAT asupra comportării grupului în timpul unor regimuri dinamice*

Alegerea reală a parametrilor RAV şi RAT are o deosebită importanţă în stabilirea exactă a comportării grupurilor în timpul unor regimuri dinamice. Pentru a arăta influenţa acestora s-a ales proba de scurtcircuit trifazat realizată la grupul de 100 MW şi s-au comparat rezultatele experimentale cu cele calculate. În această probă (cînd tensiunea pe barele de 10,5 kV a scăzut pînă la 2,2 kV, durata defectului fiind 0,69 s) grupul funcţionează în regim asincron timp de circa 4 s (avînd şase oscilaţii).

S-au luat valorile obţinute din probe pentru RAV şi RAT (valorile acestora nefiind date în

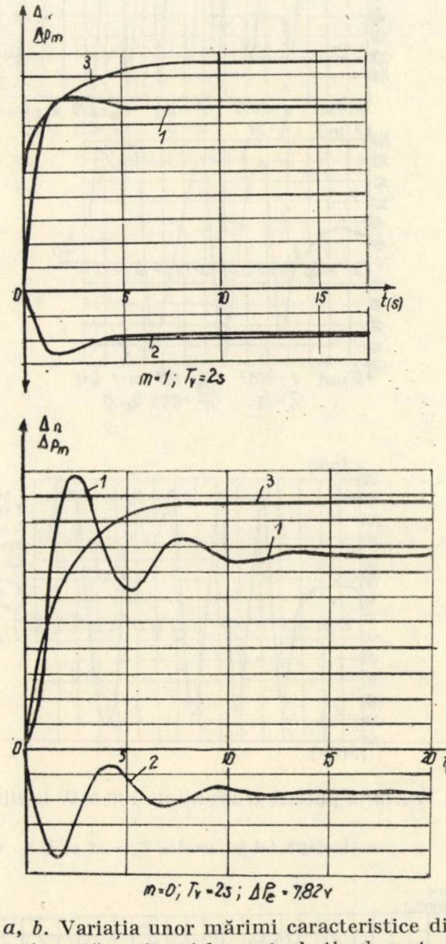



Fig. 11 *a*, *b*. Variaţia unor mărimi caracteristice din bucla de reglare automată a vitezei la perturbaţie de putere electrică egală cu variaţia puterii mecanice.

*1* – variaţia turaţiei ($\Delta n$); *2* – variaţia puterii mecanice ($\Delta Pm$) in cazul buclei de reglare a vitezei inchisă; *3* – răspunsul RAV la o perturbaţie treaptă aplicată la intrare (bucla de reglare a vitezei deschisă).

cartea maşinii), iar pentru a vedea influenţa acestora s-au luat şi valori apropiate de cele rezultate, astfel :

$\sigma$ : 5,3 % şi 6% ;

$T_v$ : 0,6 s ; 0,8 s ; 0,85 s ; 0,9 s ; 1 s ; 2 s ;

$m$ : 0 s ; 0,1 s ; 0,2 s ; 0,5 s ; 1 s ;

$T''_{d0}$ (constanta de timp a amortizorului longitudinal) : 0,15 s ; 0,5 s şi 0,875 s ;

$T''_{q0}$ (constanta de timp a amortizorului transversal) : 0,25 s ; 0,95 s ;

$K_r$ (constanta de amplificarea a RAT) : 10 şi 15 ;

$T_r$ (constanta de timp a regulatorului de tensiune) : 0,2 s ; 9,3 s ; 1 s.

În figurile 12 *a*, *b*, *c*, sînt prezentate curbele de variaţie ale puterii active la grupul de 100 MW la variaţia acestor parametri. Se observă că valorile cele mai apropiate de cele rezultate experimental (fig. 13 *a*) sînt (fig. 13 *b*) următoarele :

$$\sigma = 5{,}3\,\% \,;\; T_v = 0{,}8\ \text{s} \,;\; \tau = 0{,}0424\text{s} \,;\; m = 0 \,;$$

$$T'_{d0} = 0{,}15 - 0{,}2\ \text{s} \,;\; T''_{q0} = 0{,}85 - 0{,}95\ \text{s} \,;$$

$$K_r = 10 \text{ şi } T_r = 0{,}3 - 1\ \text{s}.$$

Parametrii care influienţează în mod deosebit asupra comportării grupului în timpul regimurilor dinamice sînt : $T_v$, $\sigma$, $\tau$ şi $m$.

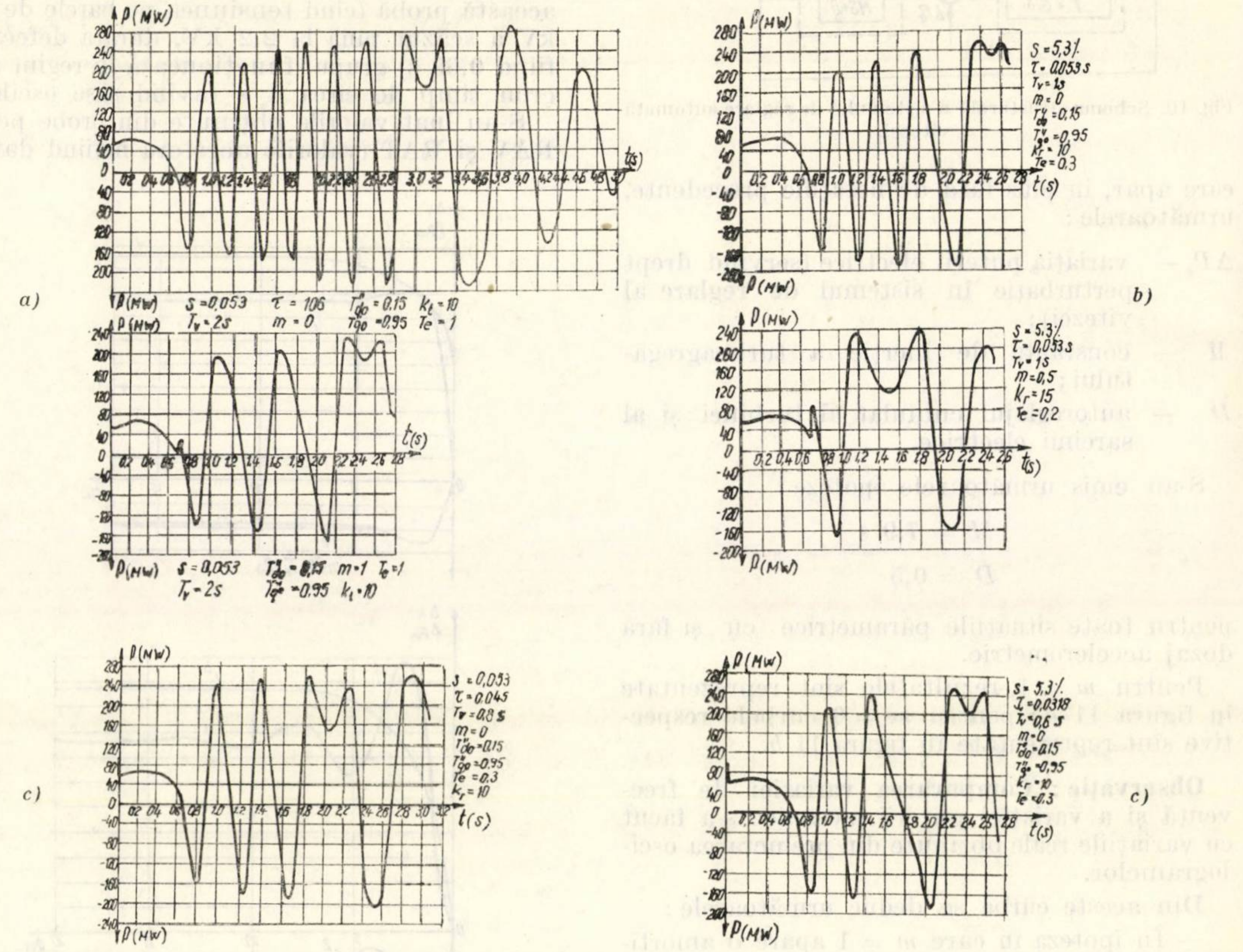



Fig. 12 Variaţia puterii grupului de 100 MW la diferiţi parametri ai RAV şi RAT la proba de scurtcircuit cu sistemul fără separare :

*a* – variaţia lui *m*, pentru $T_v$ = 2 s; *b* – variaţia lui *m* pentru $T_v$ = 1 s; *c* – variaţia lui $T_v$ pentru *m* = 0.

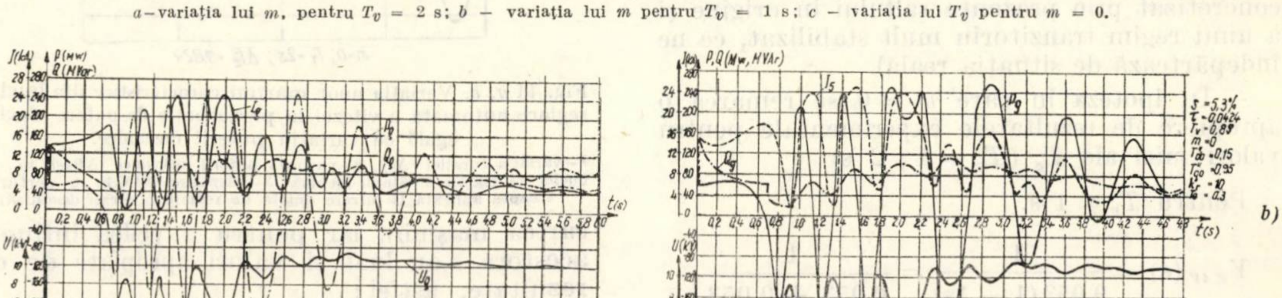



Fig. 13. Variaţia mărimilor pe grupul de 100 MW în timpul scurtcircuitului trifazat pe 110 kV, fără separare de sistem : *a* – rezultate experimentale; *b* – rezultate din calcule.

Se observă că, dacă RAV ar fi avut un $T_v >$ 2 s, grupul nu s-ar fi reprins în sincronism în timpul acestui regim.

De asemenea, pentru $T_v$ cuprins între 1 și 2 s, reprinderea în sincronism s-ar fi făcut într-un timp mai îndelungat, iar pentru $T_v$ sub 0,8 s reprinderea în sincronism s-ar fi făcut mai rapid.

Dozajul accelerometric influențează pozitiv asupra reprinderii în sincronism, cînd valoarea acestuia crește.

Rezultă că, în general, calculele făcute în cazul unor regimuri dinamice pot fi considerate suficient de precise (cu valori-standard ale parametrilor RAT și RAV) numai pentru primele oscilații.

În cazul unor fenomene care pun probleme de resincronizare se impune cunoașterea exactă a parametrilor RAT și RAV; în caz contrar, se poate ajunge la concluzii complet diferite de cele reale.

### Concluzii

Cunoașterea exactă a parametrilor RAT și RAV (fie determinați din probe, fie comunicați de firmele furnizoare) este absolut necesară în cazul examinării unor regimuri dinamice în care se pun probleme de resincronizare.

Luarea în considerare a unor parametri uzuali sau diferiți de cei reali poate conduce la concluzii eronate în privința stabilității dinamice a grupurilor generatoare.

### Bibliografie


[1] Dimo, P. *Analiza nodală a sistemelor electroenergetice*. Editura Academiei R.S.R., 1968.

[2] Ionescu, S. și Staadecker, M. *Algoritm pentru calculul regimurilor dinamice din sisteme electroenergetice*. Energetica, nr. 4, 1969.

[3] Drăgan, D. *Regulatoare de tensiune cu tiristoare și de viteză electrohidraulice la hidrogeneratoarele de la UHE Porțile de Fier. Influența asupra stabilității dinamice*. Energetica, nr. 1, 1971.

[4] Lucrare I. R. M. E. *Probe pentru stabilirea comportării grupului de 100 MW din CET Galați la aruncări de sarcini și scurtcircuite în sistem*. Partea I și a II-a.

[5] Poluşkin, H. R. *Avtomaticeskoe regulirovanie ghidroturbin*. Editura Energhiia, 1967.

[6] Gherțenberg, G.R. *Avtomaticeskie reguliatori vozbujdeniia*. Editura Energiia, 1966.

[7] CIGRE – Study Committee 32. *Working group C1. Questionnaire on the characteristics and performance of the turbine speed governors* (second draft). Decembrie 1970.


**(Articol intrat în redacție la 14 iulie 1971)**

# Particularitățile ferorezonanței în sistemele trifazate

Ing. **Gh. I. Cîrțină***)

În liniile de transport și distribuție a energiei electrice compensate longitudinal s-a observat, destul de frecvent, în anumite condiții, apariția fenomenului de „rezonanță subarmonică". Acest fenomen poate apărea în rețele de orice tensiune în urma unor regimuri tranzitorii (de exemplu, conectarea în gol a unui transformator). Rezonanța subarmonică a fost sesizată și studiată mai ales sub aspectul supratensiunilor produse (2,5 $U_n$) [2] și al mijloacelor de evitare a acestora [6]. Cu toate acestea, numărul lucrărilor ce se ocupă de tratarea analitică a problemei rămîne încă mic [3], [7], lucru explicabil prin complexitatea fenomenului și dificultățile calculului.

În lucrarea de față se stabilește dependența analitică dintre caracteristica de magnetizare a transformatorului și ordinul subarmonicii și se pun în evidență particularitățile acestui fenomen în cazul rețelelor trifazate.

Pentru simplificare, să presupunem că elementele din cele trei faze ale unui sistem sînt identice ($R_a = R_b = R_c = R$, $C_a = C_b = C_c = C$ etc).

În aceste condiții, pentru oricare fază se poate scrie:

$$R\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}\,i + \frac{d^2\psi}{dt^2} = \sqrt{2}\cdot E\cdot\omega\cdot\cos\omega t. \quad (1)$$

Pentru simplificarea calculului se ia $I_m \cdot x = i$ și $\psi_m \cdot y = \psi$, în care $I_m$ și $\psi_m$ sînt luate ca mărimi de bază pentru curent, respectiv pentru flux. Dacă pentru curba de magnetizare se consideră aproximația

$$x = K_1\cdot y + K_3\cdot y^3, \quad (2)$$

se obține în final ecuația

$$R.\,C.\,\Omega^2(1 + 3\cdot\beta y^2)\frac{dy}{dt} + \Omega^2\cdot y\,(1 + \beta y^2) + \frac{d^2y}{dt^2} = \frac{\sqrt{2}\cdot E\cdot\omega}{\psi_m}\cdot\cos\omega t, \quad (1')$$

în care s-a notat

$$\Omega^2 = \frac{K_1\cdot I_m}{C\,\psi_m} \text{ și } \beta = \frac{K_3}{K_1}.$$

Pentru a ușura și mai mult tragerea unor concluzii, se consideră că valoarea rezistenței

*) Ing. Gheorghe I. Cîrțină este șef de lucrări la Institutul politehnic Iași, Facultatea de electrotehnică.

este mult mai mică decît a reactanței, lucru plauzibil, de altfel, în cazul liniilor de tensiuni foarte ridicate. Făcînd, în plus, substituția

$$z = \sqrt{\beta}\cdot y,\ t_1 = \Omega\cdot t, \qquad (3)$$

ecuația (1)′ devine

$$\frac{d^2z}{dt_1^2} + z + z^3 = E\cdot\cos \nu.t_1, \qquad (1)''$$

în care

$$E_1 = \frac{\sqrt{2}\cdot E\cdot\omega\sqrt{\beta}}{\psi_m\,\Omega^2} = \frac{\sqrt{2}\cdot E\cdot\nu^2\cdot\sqrt{\beta}}{\psi_m\cdot\omega},\ \nu = \frac{\omega}{\Omega}\cdot \qquad (4)$$

Să vedem dacă ecuația (1)″ admite soluții subarmonice simple de forma

$$z(t_1) = a\cdot\cos\frac{\nu\cdot t_1}{q} \qquad (5)$$

Dovedirea existenței efective a soluțiilor subarmonice are o mare importanță și se poate face cu ajutorul polinoamelor Cebîșev [4]. Aceste polinoame sînt definite prin relația

$$T_q(z) = \cos\,(q.\ \text{arc}\cos z) \qquad (6)$$

Punînd ecuația (1)″ sub o formă mai generală, deducem condiția pe care trebuie s-o îndeplinească aceasta pentru a admite soluții de tipul (5). Deci,

$$\frac{d^2z}{dt_1^2} + g(z) = E_1\cdot\cos \nu.t_1 \qquad (7)$$

Pe de altă parte,

$$\cos\ \nu t_1 = \cos\ q\left(\frac{\nu.t_1}{q}\right) = T_q\left(\cos\frac{\nu\cdot t_1}{q}\right) = T_q\left(\frac{z}{a}\right).$$

Impunînd condiția ca (7) să fie satisfăcută de (5), rezultă

$$g(z) = E_1\cdot T_q\left(\frac{z}{a}\right) + \frac{\nu^2}{q^2}\cdot z \qquad (8)$$

Se poate trage concluzia că, indiferent de $q$, întotdeauna ecuația

$$\frac{d^2z}{dt_1^2} + E_1\cdot T_q\left(\frac{z}{a}\right) + \frac{\nu^2}{q^2}\cdot z = E_1\cdot\cos \nu.t_1 \qquad (9)$$

admite o soluție subarmonică simplă de forma (5).

Folosind relația de definiție a polinoamelor Cebîșev [9], se poate obține succesiv

$$T_0(z_1) = 1$$

$$T_1(z_1) = z.$$

$$T_2(z_1) = 2.\,z_1^2 - 1$$

$$T_3(z_1) = 4.\,z_1^3 - 3z_1 \ldots \text{ iar } z_1 = \frac{z}{a}$$

Pentru subarmonica de ordinul $1/q$, $g(z)$ trebuie să satisfacă relația (8). Astfel, cînd $q = 3$, se obține

$$g(z) = E_1\cdot\left(\frac{4\cdot z^3}{a^3} - 3\frac{z}{a}\right) + \frac{\nu^2}{9}\cdot z \qquad (8)'$$

iar din compararea cu (1)″ deducem

$$1 = \left(\frac{\nu^2}{9} - \frac{3\cdot E_1}{a}\right) \text{ și } 1 = \frac{4\cdot E_1}{a^3} \qquad (10)$$

Presupunînd pe $E_1$ dat, rezultă

$$a = \sqrt[3]{4.E_1},\ \nu^2 = 9\left(1 + 3\sqrt[3]{\frac{E_1^2}{4}}\right) \qquad (11)$$

Deoarece în cazul liniilor de transport și distribuție a energiei electrice valoarea lui $E_1$ nu este suficient de mică, în afara componentei subarmonice, în circuit apare și o componentă cu frecvența egală cu cea a tensiunii aplicate. Trebuie menționat, totuși, că aceasta din urmă este mult mai mică în comparație cu prima.

Cele de mai sus arată de ce conectarea în gol a unui transformator poate duce la apariția unor oscilații subarmonice. În regim normal, punctul de funcționare se găsește în porțiunea liniară a caracteristicii de magnetizare. Conectarea în gol a transformatorului determină trecerea punctului de funcționare în zona neliniarității de gradul trei (în cazul nostru) și, corespunzător, apariția ferorezonanței subarmonice.

Pentru soluționarea ecuației (1)″ este necesar s-o punem sub forma

$$\frac{d^2z}{dt_1^2} + z = -\ \varepsilon(\eta\cdot z^3 - P\cdot\cos\tau)$$

în care

$$\tau = \nu\cdot t_1;\ \varepsilon = \frac{1}{\eta},\ P = \frac{1}{\varepsilon}\cdot E_1 \qquad (12)$$

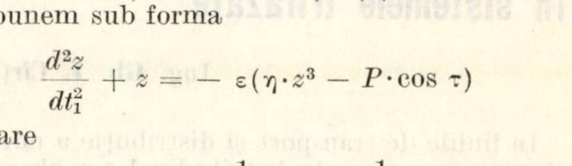



**Fig. 1**

Potrivit metodei Krîlov - Bogoliubov - Mitropolski [1], [4], se caută pentru această ecuație o soluție de forma

$$z(t_1) = a\cdot\cos\alpha + \varepsilon\cdot u_1\ (a,\ \alpha,\ \tau) + \ldots\ ;$$

$$\alpha = \left(\frac{\tau}{3} + \theta\right) \qquad (13)$$

iar amplitudinea şi faza sînt date de ecuaţiile diferenţiale

$$\left.\begin{aligned}\frac{da}{dt_1} &= \varepsilon\cdot A_1(a,\ \theta) + \varepsilon^2\cdot A_2(a,\ \theta) + \ldots\\ \frac{d\theta}{dt_1} &= \varepsilon\cdot B_1(a,\ \theta) + \varepsilon^2\cdot B_2(a,\ \theta) + \ldots\end{aligned}\right\} \quad (14)$$

Adaptînd relaţiile din [1] şi [4] la cazul (12), pentru subarmonica de ordin 1/3 se obţine, în aproximaţia a doua

$$z(t_1) = a\cdot\cos(t_1 + \theta) + \frac{1}{32}a^3\cdot\cos(3t_1 + 3\theta) - \frac{E_1}{8}\cdot\cos 3t_1;\ \frac{\nu}{3} = \frac{\omega}{3\cdot\Omega} = 1 \quad (15)$$

$$\left.\begin{aligned}\frac{da}{dt_1} &= A(a,\theta,\nu) = -\frac{3\cdot a^2\cdot E_1}{64}\cdot\sin 3\theta = 0\\ \frac{d\theta}{dt_1} &= B(a,\theta,\nu) = \frac{3}{2\cdot\nu}\left(1 - \frac{\nu^2}{9} + \frac{3}{4}a^2 + \frac{3}{128}a^4 - \frac{3}{32}a\cdot E_1\cdot\cos 3\theta\right) = 0\end{aligned}\right\} \quad (16)$$

Ţinînd seamă că din prima ecuaţie (16) rezultă $\theta = \frac{k\pi}{3}$; $k = 0, 1, 2, 3, 4, 5$, soluţia (15) se mai poate scrie

$$z(t_1) = a\cdot\cos\left(t_1 + \frac{k\pi}{3}\right) + \left(\pm\frac{a^3}{32} - \frac{E_1}{8}\right)\cos 3t_1;\quad k = 0, 1, 2, 3, 4, 5. \quad (15')$$

Prin eliminarea lui $\theta$ între cele două ecuaţii (16), se găseşte expresia curbei de rezonanţă, $C(a,\ \nu^2)$:

$$C(a,\ \nu^2) = 1 - \frac{\nu^2}{9} + \frac{3}{4}a^2 + \frac{3}{128}a^4 \mp \frac{3}{32}a\cdot E_1 = 0 \quad (17)$$

În aceste relaţii semnele superioare corespund lui $k = 0, 2, 4$, iar cele inferioare lui $k = 1, 3, 5$. O analiză sumară a ecuaţiilor (17) duce la concluzia că acestea au cîte două rădăcini complexe (teorema lacunelor), cîte una negativă şi cîte una pozitivă. Deoarece aceste rădăcini reprezintă amplitudinea unei oscilaţii, reţinem pentru discuţie doar pe cele pozitive. Dintre cele două rădăcini pozitive, cea a primei ecuaţii (17) (semnul minus) este mai mare (fig. 2).

În concluzie ramurii din stînga (fig. 2) îi corespund trei soluţii periodice, rezultate din (15) pentru $k = 0, 2, 4$, iar celei din dreapta alte trei soluţii, $k = 1, 3, 5$, în opoziţie de fază cu primele şi de amplitudine puţin mai mică.

Cercetînd stabilitatea soluţiei (15)' se poate dovedi [4] că aceasta este asimptotic stabilă cînd este satisfăcută inegalitatea

$$\pm\left(\frac{\nu^2}{9} - 1 + \frac{3}{4}a^2 + \frac{9}{128}a^4\right) > 0 \quad (18)$$

Semnele din faţa parantezei păstrează ordinea stabilită iniţial, adică semnul plus corespunde ramurii din stînga, iar semnul minus celei din dreapta. Din aceste motive rezultă stabilă doar

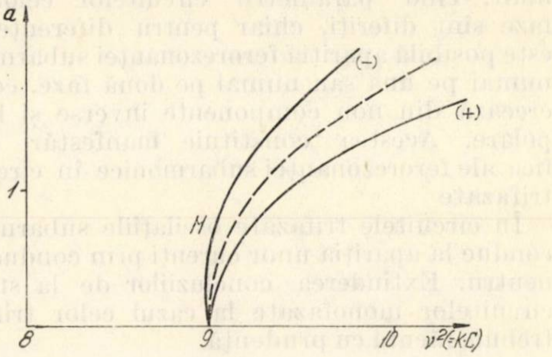



Fig. 2

ramura din stînga, căreia îi corespund soluţiile

$$z(t_1) = a\cdot\cos\left(t_1 + \frac{2.\pi.n}{3}\right) + \left(\frac{a^3}{32} - \frac{E_1}{8}\right)\cos 3t_1;\quad n = 0, 1, 2. \quad (15)''$$

Locul geometric al punctelor ce separă zonele stabile din cele instabile este dat de ecuaţia

$$\nu^2 = 9\left(1 - \frac{3}{4}a^2 - \frac{9}{128}a^4\right) \quad (19)$$

Coordonatele acestor puncte se pot găsi uşor, impunînd condiţia ca (17) să admită tangentă verticală.

Pentru anumite valori ale capacităţii de compensare serie,

$$\nu^2 = \frac{\omega^2}{\Omega^2} = \frac{\omega^2\cdot\psi_m}{K_1\cdot I_m}\cdot C = K\cdot C, \quad (20)$$

valori ce depind de restul parametrilor circuitului, componenta subarmonică $z_{1/3}$ a soluţiei (15)'' este predominantă; deci

$$z(t_1) \approx z_{1/3}(t_1) = a\cdot\cos\left(t_1 + \frac{2\cdot\pi\cdot n}{3}\right);\quad n = 0, 1, 2. \quad (21)$$

Cînd elementele celor trei faze sînt identice, se poate presupune că fenomenele se desfăşoară la fel în toate fazele, cu excepţia defazajului.

$$z_{a1/3} = a.\cos\left(t_1 + \frac{2.\pi.n}{3}\right)$$

$$z_{b1/3} = a.\cos\left[t_1 + \frac{2.\pi}{3}(n - 1/3)\right];\ n = 0,1,2.$$

$$z_{c1/3} = a.\cos\left[t_1 + \frac{4.\pi}{3}(n/2 - 1/3)\right] \quad (22)$$

Indiferent de $n(=0, 1, 2)$, rezultă întotdeauna componente inverse şi homopolare, cu toate că sistemul de tensiuni aplicate este simetric iar elementele din cele trei faze sînt identice. Mai mult, cînd parametrii circuitelor celor trei faze sînt diferiţi, chiar pentru diferenţe mici este posibilă apariţia ferorezonanţei subarmonice numai pe una sau numai pe două faze, ceea ce creează din nou componente inverse şi homopolare. Acestea constituie manfestări specifice ale ferorezonanţei subarmonice în circuitele trifazate

În circuitele trifazate oscilaţiile subarmonice conduc la apariţia unor curenţi prin conductorul neutru. Extinderea concluziilor de la studiile circuitelor monofazate la cazul celor trifazate trebuie făcută cu prudenţă.

**Bibliografie**


[1] B o g o l i u b o v, N. K. şi M i t r o p o l s k i, I. A. *Asimtoticeskie metodî v teorii nelineinîh kolebanii*, G.I.T.L., Moscova, 1955.

[2] M e l n i k o v, N. A. ş.a. *Proektirovanie elektriceskoi ciasti vozduşnîh linii elektroperedaci 330—500 kV*. Gosenergoizdat, Moscova, 1963.

[3] D o l g h i n o v, A. I. *Rezonans v elektriceskih ţepiah i sistemah*. Gosenergoizdat, Moscova, 1963.

[4] D i n c ă, F. şi T e o d o s i u, C. *Vibraţii neliniare şi aleatoare*. Editura Academiei, Bucureşti, 1969.

[5] H a y a s h i, C. *Nonlinear Oscillations in Physical Systems*. Mc.Graw-Hill Book Company, N.Y.-San Francisco-Toronto-London, 1964.

[6] G r z y b o v s k i, S. *Condensatoare în electroenergetică*. Traducere din limba polonă, Editura tehnică, Bucureşti, 1966.

[7] K i s h i m a, A. *Sub-harmonic Oscillations in Three-phase Circuit*. Mem. of the Faculty of Engineering Kyoto University, ianuarie 1968.

[8] C î r ţ i n ă, Gh. *Sur le fonctionnement du parametron sur la III-ème sous-harmonique*. Buletinul Institutului politehnic Iaşi, vol. XV, fasc. 3—4, 1969.

[9] S a b a c, Gh. *Matematici speciale*, vol. II. Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1965.


**(Articol intrat în redacţie la 8 martie 1971)**

# Utilizarea algoritmului simplex la calculul regimului permanent al sistemelor electroenergetice


Ing. **E. Potolea** şi
ing. **M. Tudose***)


Regimul permanent al unui sistem electroenergetic se descrie, în general, cu ajutorul unui sistem de ecuaţii neliniare, care se completează cu condiţiile restrictive impuse asupra a două categorii de mărimi ale sistemului electroenergetic :

— mărimi cu valori reglate, cum sînt tensiunile la bornele receptoarelor ;

— mărimi cu valori reglabile, cum sînt puterile la arborii generatoarelor, puterile reactive ale generatoarelor şi rapoartele de transformare ale transformatoarelor sau autotransformatoarelor.

Oricare ar fi metoda utilizată la rezolvarea sistemului de ecuaţii neliniare, se pune problema alegerii unor valori corespunzătoare pentru mărimile reglabile, astfel încît valorile reglate să se găsească în limitele admisibile. În consecinţă, calculul regimului permanent al unui sistem electroenergetic înseamnă rezolvarea sistemului de ecuaţii neliniare odată cu determinarea unui sistem de valori corespunzătoare pentru mărimile reglabile.

Alegerea valorilor reglabile prin metoda dispecerizării economice — întîlnită în literatura de specialitate — necesită un volum imens de calcule şi nu poate fi aplicată decît în prezenţa ipotezelor simplificatoare. În cele ce urmează, problema regimului permanent se rezolvă întrun mod original, cu ajutorul programării matematice liniare.

## 1. Ecuaţiile regimului permanent

Se consideră schema monofilară de conexiuni a unei reţele electroenergetice (fig. 1 *a*) şi se construieşte schema echivalentă de succesiune directă (fig. 1 *b*) pentru calculul regimului permanent simetric.

Elementele active ale reţelei (generatoare şi receptoare) se reprezintă prin puteri injectate la nodurile active $i \in n$ ale schemei pasive

$$P_i = P_{gi} - P_{ri}(U_i)$$
$$Q_i = Q_{gi} - Q_{ri}(U_i) \quad (1)$$

în care

$P_{gi}$, $Q_{gi}$ sînt puterile debitate la bornele generatoarelor ;

$P_{ri}$, $Q_{ri}$ — puterile absorbite la bornele receptoarelor, conform caracteristicilor statice.

Elementele pasive ale reţelei (linii şi transformatoare) se reprezintă în schema echivalentă astfel : liniile se reprezintă prin schema de forma $\pi$ şi se caracterizează prin doi parametri : impedanţa longitudinală $\underline{z}_{ik} = \underline{z}_{ki}$ şi admitanţele transversale $\underline{y}_{i,ik} = \underline{y}_{k,ki}$ ; transformatoarele se reprezintă prin scheme de forma $\Gamma$ sau $\Gamma$ întors (vezi anexa) şi se caracterizează prin trei parametri : impedanţa longitudinală $\underline{z}_{ik}$ sau

*) Ing. Eugen Potolea este profesor la Institutul politehnic Bucureşti ; ing. Maria Tudose este asistent la acelaşi institut.

$\underline{z}_{ki}$, admitanța transversală $\underline{y}_{i,ik}$ sau $\underline{y}_{k,ki}$ și raportul $N_{ik}$ sau $N_{ki}$.

Admitanțele transversale $\underline{y}_{i,ik}$ de la nodurile schemelor elementare ($\pi$ și $\Gamma$ sau $\Gamma$ întors) se însumează pentru fiecare nod $i \in n$ și se

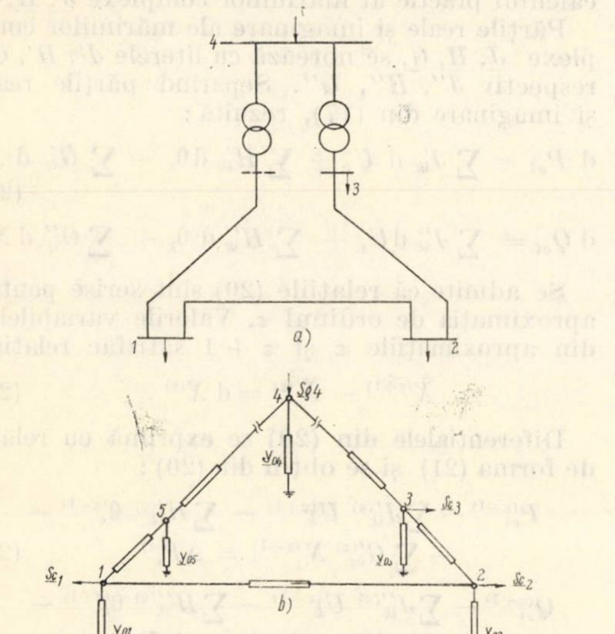



Fig. 1. Schemele unei rețele electroenergetice: *a* — schema monofilară de conexiuni; *b* — schema echivalentă de succesiune directă.

obțin admitanțele transversale $\underline{y}_{oi}$ de la nodurile schemei echivalente generale (fig. 1 *b*). Laturile longitudinale ($l$) din schema echivalentă generală sînt de două categorii: laturi cu transformatoare ($\tau$), pentru care se dau parametrii $\underline{z}_{ik}$, $N_{ik}$ sau $\underline{z}_{ki}$, $N_{ki}$, și laturi fără transformatoare ($\lambda$), pentru care se dau parametrii $\underline{z}_{ik} = \underline{z}_{ki}$ și se consideră $N_{ik} = N_{ki} = 1$.

În funcție de impedanțele longitudinale se calculează admitanțele laturilor longitudinale și apoi se utilizează relațiile cunoscute din metoda tensiunilor nodale

$$\underline{Y}_{ii} = \underline{y}_{oi} + \sum_{ik \in l} \underline{Y}_{ik}$$
$$\underline{Y}_{ik} = \underline{y}_{ik} N_{ik}, \tag{2}$$

în care (vezi anexa)

$$\underline{y}_{ik} = \underline{y}_{ki} N_{ki}^2 ; \; N_{ik} \, N_{ki} = 1. \tag{3}$$

Folosind metoda tensiunilor nodale, se exprimă puterile complexe $\underline{S}_i$, injectate la nodurile $i \in n$

$$\underline{S}_i = \underline{U}_i \sum_{k \in n} \underline{Y}_{ik}^* \, \underline{U}_k^*, \tag{4}$$

în care

$\underline{U}_i = U_i \llcorner \theta_i$ sînt tensiunile nodale între faze;

$\underline{Y}_{ik}$ — termenii matricei admitanțelor nodale.

Separînd părțile reale și imaginare din (4) și ținînd seama de (1), se obține

$$\mathrm{Re}\,(\underline{U}_i \sum_{k \in n} \underline{Y}_{ik}^* \underline{U}_k^*) + P_{ri}\,(U_i) = P_{gi} \tag{5}$$
$$\mathrm{Im}\,(\underline{U}_i \sum_{k \in n} \underline{Y}_{ik}^* \underline{U}_k^*) + Q_{ri}\,(U_i) = Q_{gi}.$$

Relațiile (5) reprezintă ecuațiile de funcționare a rețelei electroenergetice, scrise sub forma bilanțurilor de puteri active și reactive la nodurile $i \in n$.

Relațiile (5) formează un sistem de $2N$ ecuații, în care intervin următoarele variabile:

a) variabilele libere $\theta_k$, asupra cărora nu se impun restricții;

b) variabilele reglate, continue, $U_k$, care satisfac restricțiile

$$U_{k\,min} \leqslant U_k \leqslant U_{k\,max}; \tag{6}$$

c) variabilele reglabile, continue, $P_{gi}$, $Q_{gi}$, care satisfac restricțiile

$$0 \leqslant P_{gi} \leqslant P_{i\,max} \quad 0 \leqslant Q_{gi} \leqslant Q_{i\,max} \tag{7}$$

d) variabilele reglabile discrete $N_{ik} = N_j$, care pot lua numai valorile din șirurile discrete

$$N_j \in (N_{j\,nom} \pm t_j \,\Delta N_j) ; \; t_j \in (0, 1, 2, \ldots, T_j) \tag{8}$$

în care

$N_{j\,nom}$ este raportul nominal al transformatorului de pe latura $ik$;

$\Delta N_j$ — treapta elementară de reglaj;

$T_j$ — numărul treptelor elementare de reglaj.

Din relațiile (8) rezultă limitele maxime și minime pentru variabilele discrete

$$N_{j\,max} = N_j + T_j \,\Delta N_j$$
$$N_{j\,min} = N_j - T_j \,\Delta N_j \tag{9}$$

Înlocuind variabilele discrete $N_j$ cu variabilele continue, se pot scrie restricții de forma

$$N_{j\,min} \leqslant N_j \leqslant N_{j\,max}. \tag{10}$$

Limitele $U_{k\,min}$, $U_{k\,max}$ se indică pentru fiecare din nodurile $k \in n$, iar limitele $P_{i\,max}$ se calculează după cum urmează:

Se admit următoarele aproximații referitoare la generatorul ideal: rotorul are polii înecați și deci $X_d = X_q = X$; rezistențele înfășurărilor statorice sînt nule și deci $Z = jX$; circuitele magnetice ale generatoarelor sînt nesaturate și deci impedanțele $Z = jX$ sînt independente de regimurile de funcționare.

Pentru generatoare se dau parametrii nominali $P_n$, cos $\varphi_n$, $U_n$ și reactanța sincronă relativă $X_*$. Pentru orice regim de funcționare ($P_g \neq P_n$, $U \neq U_n$) puterile disponibile la borne sînt (vezi anexa):

$$P_{max} = P_n ; \; Q_{max} = \frac{U}{U_n}\left(\eta - \frac{U}{U_n}\frac{S_n}{X_*}\right), \tag{11}$$

în care

$$\eta = \sqrt{\left(Q_n + \frac{S_n}{X_*}\right)^2 + P_n^2 - P_g^2\left(\frac{U_n}{U}\right)^2} \quad (12)$$

$$Q_n = P_n \operatorname{tg} \varphi_n ; \; S_n = P_n / \cos \varphi_n .$$

Pentru regimul nominal de funcţionare, cînd $P_g = P_n$ şi $U = U_n$, se obţine $Q_{max} = Q_n$.

Calculul regimului permanent de funcţionare constă în determinarea unui sistem de valori pentru variabilele $\theta$, $U$, $P$, $Q$ şi $N$, astfel încît să fie satisfăcute restricţiile (5), (6), (7) şi (10). Dacă sistemul alcătuit din aceste restricţii este compatibil, rezultă o infinitate de soluţii, deci o infinitate de regimuri permanente. O soluţie unică a regimului permanent se obţine dacă se optimizează o funcţie-obiectiv. În acest fel, calculul regimului permanent se reduce la o problemă de programare matematică neliniară, în care o parte din variabile trebuie să fie numere întregi.

Se consideră două funcţii care pot fi luate ca funcţii-obiectiv la calculul regimului permanent:

— suma puterilor active debitate de generatoare

$$P = \sum_{i \in n} P_{gi} \quad (13)$$

— media aritmetică a tensiunilor relative de la noduri

$$u = \frac{1}{N} \sum_{i \in n} \frac{U_i}{U_{io}}, \quad (14)$$

în care

$N$ este numărul nodurilor din mulţimea $n$;
$U_{io}$ — tensiunea nominală a nodului $i \in n$.

## 2. Algoritmul simplex

Funcţiile-obiectiv (13) şi (14) sînt funcţii liniare. În sistemul total de restricţii, doar restricţiile de egalitate (5) sînt neliniare. Acestea se liniarizează la fel ca în metoda Newton-Raphson.

Se scriu ecuaţiile (5) sub forma

$$\underline{S}_{gi} = \underline{S}_{ri} + \underline{\psi}_i, \quad (15)$$

în care

$$\underline{\psi}_i = \underline{U}_i \sum_{k \in n} \underline{Y}^*_{ik} \underline{U}^*_k \quad (16)$$

Diferenţiind relaţiile (15), rezultă:

$$d\underline{S}_{gi} = \sum_{k \in n} \underline{J}_{ik} \, dU_k + \sum_{k \in n} \underline{H}_{ik} \, d\,\theta_k + \sum_{j \in t} \underline{G}_{ij} \, d N_j . \quad (17)$$

Cu relaţiile $\underline{J}_{ii} = \dfrac{\partial \underline{S}_{ri}}{\partial U_i} + \underline{F}_{ii}$; $\underline{J}_{ik} = \underline{F}_{ik}$ (18)

şi

$$\underline{F}_{ik} = \frac{\partial \underline{\psi}_i}{\partial U_k} ; \; \underline{H}_{ik} = \frac{\partial \underline{\psi}_i}{\partial \theta_k} ; \; \underline{G}_{ij} = \frac{\partial \underline{\psi}_i}{\partial N_j} . \quad (19)$$

În anexă se dau relaţiile detaliate pentru calculul practic al mărimilor complexe $\underline{J}$, $\underline{H}$, $\underline{G}$.

Părţile reale şi imaginare ale mărimilor complexe $\underline{J}$, $\underline{H}$, $\underline{G}$, se notează cu literele $J'$, $H'$, $G'$, respectiv $J''$, $H''$, $G''$. Separînd părţile reale şi imaginare din (17), rezultă:

$$d\,P_{gi} = \sum J'_{ik} \, d\,U_k + \sum H'_{ik} \, d\theta_k + \sum G'_{ij} \, d\,N_j \quad (20)$$

$$d\,Q_{gi} = \sum J''_{ik} \, dU_k + \sum H''_{ik} \, d\,\theta_k + \sum G''_{ij} \, dN_j .$$

Se admite că relaţiile (20) sînt scrise pentru aproximaţia de ordinul $\varepsilon$. Valorile variabilelor din aproximaţiile $\varepsilon$ şi $\varepsilon + 1$ satisfac relaţiile

$$X^{(\varepsilon+1)} - X^{(\varepsilon)} = d\,X^{(\varepsilon)} . \quad (21)$$

Diferenţialele din (20) se exprimă cu relaţii de forma (21) şi se obţin din (20):

$$P_{gi}^{(\varepsilon+1)} - \sum J'^{(\varepsilon)}_{ik} \, U_k^{(\varepsilon+1)} - \sum H'^{(\varepsilon)}_{ik} \, \theta_k^{(\varepsilon+1)} - \sum G'^{(\varepsilon)}_{ij} \, N_j^{(\varepsilon+1)} = \Delta P_i^{(\varepsilon)} \quad (22)$$

$$Q_{gi}^{(\varepsilon+1)} - \sum J''^{(\varepsilon)}_{ik} \, U_k^{(\varepsilon+1)} - \sum H''^{(\varepsilon)}_{ik} \, \theta_k^{(\varepsilon+1)} - \sum G''^{(\varepsilon)}_{ij} \, N_j^{(\varepsilon+1)} = \Delta Q_i^{(\varepsilon)},$$

unde

$$\Delta P_i^{(\varepsilon)} = P_{gi}^{(\varepsilon)} - \sum J'^{(\varepsilon)}_{ik} \, U_k^{(\varepsilon)} - \sum H'^{(\varepsilon)}_{ik} \, \theta_k^{(\varepsilon)} - \sum G'^{(\varepsilon)}_{ij} \, N_j^{(\varepsilon)} \quad (23)$$

$$\Delta Q_i^{(\varepsilon)} = Q_{gi}^{(\varepsilon)} - \sum J''^{(\varepsilon)}_{ik} \, U_k^{(\varepsilon)} - \sum H''^{(\varepsilon)}_{ik} \, \theta_k^{(\varepsilon)} - \sum G''^{(\varepsilon)}_{ij} \, N_j^{(\varepsilon)}$$

În cele ce urmează se stabilesc relaţiile pentru maximizarea funcţiei-obiectiv (14) în reţeaua în care nodul $e$ este nod de echilibrare a puterilor active şi reactive:

$$u = \frac{1}{N}\left(\frac{U_e}{U_{e0}} + \sum_{i \neq e} \frac{U_i}{U_{i0}}\right). \quad (24)$$

Se defineşte mulţimea $\nu = n/e$. Pentru nodul de echilibrare se fixează tensiunea la valoarea nominală $U_e = U_{e0}$ şi argumentul la valoarea arbitrară $\theta_{e0}$. Pentru nodurile $i \in \nu$ se scriu relaţiile (22), făcînd abstracţie de indicii $\varepsilon$ şi $\varepsilon + 1$.

$$\sum_{k \in \nu} J'_{ik} \, U_k + \sum_{k \in \nu} H'_{ik} \, \theta_k + \sum_{j \in \tau} G'_{ij} \, N_j - P_{gi} = \Delta P_{ie}$$

$$\sum_{k \in \nu} J''_{ik} \, U_k + \sum_{k \in \nu} H''_{ik} \, \theta_k + \sum_{j \in \tau} G''_{ij} \, N_j - Q_{gi} = \Delta Q_{ie}, \quad (25)$$

în care

$$\Delta P_{ie} = \Delta P_i + J'_{ie} \, U_{e0} + H'_{ie} \, \theta_{e0}$$

$$\Delta Q_{ie} = \Delta Q_i + J''_{ie} \, U_{e0} + H''_{ie} \, \theta_{e0} . \quad (26)$$

Sistemului de restricţii (25) i se adaugă sistemele de restricţii (6), (7) şi (10), care se trans-

formă în restricţii de egalitate prin introducerea variabilelor-ecart :

$$\begin{aligned} U_{k\,max} - U_k - x_k &= 0 \\ U_k - U_{k\,min} - y_k &= 0 \end{aligned} \qquad (27)$$

$$\begin{aligned} P_{gi\,max} - P_{gi} - p_i &= 0 \\ Q_{gi\,max} - Q_{gi} - q_i &= 0 \end{aligned} \qquad (28)$$

$$\begin{aligned} N_{j\,max} - N_j - \mu_i &= 0 \\ N_j - N_{j\,min} - \nu_i &= 0 \end{aligned} \qquad (29)$$

Variabilele $\theta_k$ din (25) nu sînt supuse la restricţii şi pot căpăta valori pozitive sau negative. În algoritmul simplex este necesar ca toate variabilele să fie nenegative şi de aceea se înlocuiesc variabilele libere $\theta_k$ prin diferenţe de variabile nenegative

$$\theta_k = \alpha_k - \beta_k\,;\ \alpha_k \geqslant 0\,;\ \beta_k \geqslant 0. \qquad (30)$$

Pe baza relaţiilor (24), (25), (27), (28) şi (29) se aplică algoritmul simplex pentru a maximiza funcţia-obiectiv (24).

Se rezolvă această problemă de programare matematică liniară, după care, cu valorile mărimilor reglabile astfel găsite, se calculează din nou regimul prin metoda Newton.

În acest scop se folosesc ecuaţiile (25), în care coeficienţii $G'_{ij}$ şi $G''_{ij}$ sînt nuli, iar puterile $P_{gi}$ şi $Q_{gi}$ sînt constante.

Cu valorile tensiunilor obţinute în acest mod se recalculează coeficienţii $\underline{J}$, $\underline{H}$, $\underline{G}$ şi termenii $\Delta P_e$, $\Delta Q_e$ şi se obţine o nouă problemă de programare matematică liniară, analogă celei precedente. Pentru rezolvare, acesteia i se aplică din nou algoritmul simplex.

S-a înlocuit astfel problema de programare matematică neliniară printr-o succesiune de probleme de programare matematică liniară. Calculul se continuă pînă cînd valorile variabilelor din aproximaţiile $\varepsilon$ şi $\varepsilon + 1$ diferă între ele prin valori mai mici decît cele impuse în prealabil, $X^{\varepsilon+1} - X^{\varepsilon} \leqslant \Delta X$ admisibil.

### 3. Reducerea numărului de variabile

Aplicarea algoritmului simplex necesită introducerea variabilelor suplimentare din (30) şi a variabilelor-ecart din (27), (28) şi (29).

Se poate evita introducerea relaţiilor şi a variabilelor suplimentare din (30). În acest scop se pot folosi două procedee :

— Dat fiind că argumentul $\theta_{e0}$ este arbitrar, se poate alege o valoare nenegativă $\theta_e < 90°$, astfel încît toate necunoscutele de bază $\theta_k$ $(k \in \nu)$ să rezulte nenegative. Dacă în decursul calculului rezultă o valoare negativă pentru un argument $\theta_k$, atunci se adaugă o constantă arbitrară la toate argumentele pentru a obţine numai valori nenegative.

— Dat fiind că variabilele $\theta_k$ nu intervin în funcţia-obiectiv, se elimină argumentele $\theta_k$ $(k \in n)$ din sistemul (25). Se obţine astfel un sistem cu $N$-1 ecuaţii.

Există posibilitatea reducerii numărului de variabile-ecart dacă se elimină o parte din restricţiile de egalitate (27), (28) şi (29), rămînînd ca în decursul calculelor să se ţină seamă de restricţiile de inegalitate corespunzătoare. Din sistemul de restricţii (27), (28) şi (29) se reţin numai ecuaţiile (27), în care intervin variabilele $U_k$ din funcţia-obiectiv. În aceste condiţii, algoritmul simplex se aplică relaţiilor (25) şi (27) cu funcţia-obiectiv (24).

Pe baza relaţiilor (24), (25) şi (27) se aplică algoritmul simplex pentru a maximiza funcţia-obiectiv (24).

Restricţiile referitoare la necunoscutele $P_{gi}$, $Q_{gi}$ şi $N_j$ se introduc în cursul calculului după cum urmează :

— Dacă se obţin valori $P_{gi}$ şi $Q_{gi}$ care depăşesc limitele din (7), se înlocuiesc aceste valori prin cele mai apropiate extreme din (7).

— Dacă se obţin valori $N_j$ care nu satisfac restricţiile (8) şi (10), se înlocuiesc aceste valori prin cele mai apropiate extreme din (10) sau prin cele mai apropiate valori discrete din (8). Algoritmul simplex se aplică pentru a determina variabilele din aproximaţia $\varepsilon + 1$, în ipoteza că sînt cunoscute variabilele din aproximaţia $\varepsilon$. În aproximaţia 0 se admit valorile nominale pentru variabilele $U_k$, $P_{gi}$, $Q_{gi}$, $N_j$ şi $\theta_k = 0$.

Ciclul de operaţii se repetă pînă cînd aproximaţiile succesive diferă între ele prin valori mai mici decît erorile admise în calcul.

În final se calculează puterile de la nodul de echilibrare şi se verifică restricţiile

$$\begin{aligned} 0 \leqslant P_{ge} \leqslant P_{e\,max} \\ 0 \leqslant Q_{ge} \leqslant Q_{e\,max} \end{aligned} \qquad (31)$$

Dacă puterea activă $P_{ge}$ nu se încadrează în limitele din (31), se reface calculul admiţînd valori constante pentru puterile active $P_{gi} (i \in n)$, astfel încît să fie satisfăcut bilanţul aproximativ

$$\sum_{i \in n} P_{gi} = 1{,}1 \sum_{i \in n} P_{ri}. \qquad (32)$$

Dacă puterea reactivă $Q_{ge}$ nu se încadrează în limitele din (31), se reface calculul pentru o altă valoare a tensiunii $U_e$, care se alege avînd în vedere satisfacerea condiţiilor din (31).

Se pot indica procedee pentru reducerea volumului de calcul în metoda expusă. În primul rînd se constată că valorile coeficienţilor $\underline{J}$ şi $\underline{H}$ variază în limite restrînse de la o aproximaţie la alta.

În consecinţă, valorile calculate în aproximaţia $\varepsilon$ se pot utiliza pentru mai multe aproximaţii succesive $\varepsilon + 1$, $\varepsilon + 2$ ...

Pentru a determina valori mai exacte ale coeficienţilor $\underline{J}$ şi $\underline{H}$ din primele aproximaţii,

se calculează un regim inițial folosind metoda Newton-Raphson fără a ține seamă de restricțiile referitoare la tensiuni. În acest scop se folosesc relațiile (25), în care puterile $P_{gi}$ și $Q_{gi}$ și rapoartele $N_j$ sînt constante și egale cu valorile nominale, astfel că rezultă $G'_{ij} = G''_{ij} = 0$ Tensiunile din aproximația 0 sînt egale cu valorile nominale, iar argumentele din aproximația 0 sînt egale cu zero.

În al doilea rînd, se poate reduce la jumătate numărul ecuațiilor din (27) și al variabilelor-ecart din (27). În acest scop se scriu restricțiile (6) sub forma

$$0 \leqslant X_k \leqslant A_k, \tag{35}$$

în care

$$X_k = U_k - U_{k\,min}$$
$$A_k = U_{k\,max} - U_{k\,min}. \tag{34}$$

Restricțiile de inegalitate referitoare la variabilele nenegative $X_k$ se transformă în restricții de egalitate prin introducerea variabilelor-ecart

$$X_k + x_k = A_k. \tag{35}$$

Din prima relație (34) se exprimă $U_k$ în funcție de $X_k$ și se introduce în relațiile (24) și (25).

Ecuațiile transformate obținute din (24) și (25) împreună cu ecuația (35) formează noul sistem de ecuații pentru care se aplică algoritmul simplex. Numărul de ecuații și de variabile din sistemul (25) rămîne neschimbat în sistemul (26) transformat.

Vechiul sistem (27) conținea 2($N$-1) ecuații și 2($N$-1) variabile-ecart, iar noul sistem (35) conține $N$-1 ecuații și $N$-1 variabile-ecart.

**Aplicație**

Se consideră schema monofilară de conexiuni din figura 2 și se dau caracteristicile din tabelul 1. Se cere să se determine regimul permanent în următoarele condiții:

— funcția-obiectiv este

$$f = \frac{1}{2}\left(\frac{U_2}{U_{2n}} + \frac{U_2}{U_{3n}}\right); \tag{36}$$

a) tensiunea $U_1$ este constantă, $U_1 = 6$ kV; rapoartele de transformare $N_{21}$, $N_{31}$ sînt variabile;

b) tensiunea $U_1$ este constantă, $U_1 = 6$ kV; $N_{21} = N_{21\,nom} = 20$, $N_{31}$ este variabil;

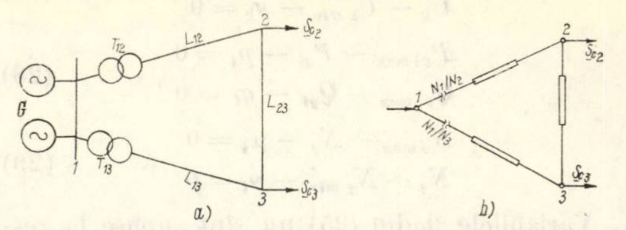


Fig. 2. Schemele pentru aplicații: *a* — schema monofilară de conexiuni; *b*—schema echivalentă de succesiune directă.

c) tensiunea $U_1$ este constantă, $U_1 = 6$ kV; $N_{31} = N_{31\,nom} = 20$; $N_{21}$ este variabil.

Neglijînd admitanțele transversale din schemele echivalente ale transformatoarelor și liniilor, se construiește schema echivalentă a rețelei (fig. 2 *b*), în care:

$$\underline{Y}_{21} = (3{,}9 \ - \mathrm{j}\ 15{,}6).10^{-3}\ \mathrm{S}$$

$$\underline{Y}_{13} = (4{,}47 - \mathrm{j}\ 21{,}8).10^{-3}\ \mathrm{S}$$

$$\underline{Y}_{23} = (13{,}7 - \mathrm{j}\ 36{,}6).10^{-3}\ \mathrm{S}$$

În continuare se menține nodul 1 ca nod de echilibrare a puterilor active și nu se impun restricții de forma (31) pentru puterea mecanică $P_{m1}$. În consecință, se admite că bilanțul puterilor active este satisfăcut în toate regimurile. Ecuația de bilanț a puterilor active la nodul de echilibrare se elimină din (31) și se obține un sistem de 2$N$-1 ecuații, adică cu cinci ecuații.

În ipoteza considerată că și tensiunea $U_1 = 6$ kV se elimină din (31) și ecuația de bilanț a puterilor reactive la nodul 1 și se obține un sistem de patru ecuații.

Cu valorile considerate și obținute din calculul inițial al regimului se calculează termenii $\underline{J}_{ii} = \underline{F}_{ii}$; $\underline{J}_{ik} = \underline{F}_{ik}$; $\underline{H}_{ii}$, $\underline{H}_{ik}$, $\underline{G}_{ij}$, $\underline{G}_{kj}$ din (25):

$\underline{F}_{22} = 1{,}115 + j\ 4{,}3$ $\qquad$ $\underline{F}_{33} = 1{,}54 + j\,5{,}752$

$\underline{F}_{21} = -\ 11{,}87 - j\,29{,}55$ $\qquad$ $\underline{F}_{32} = -\ 1{,}355 - j\,3{,}742$

$\underline{F}_{23} = -\ 1{,}444 - j\,3{,}598$ $\qquad$ $\underline{F}_{31} = -\ 14{,}6 - j\,29{,}7$

$\underline{H}_{22} = +\ 545{,}2 - j\ 214{,}5$ $\qquad$ $\underline{H}_{33} = +\ 630 - j\ 222$

$\underline{H}_{23} = -\ 368{,}5 + j\ 145$ $\qquad$ $\underline{H}_{32} = -\ 371 + j\ 133{,}9$

$\underline{G}_{2,12} = -\ 3{,}56 - j\ 8{,}85$ $\qquad$ $\underline{G}_{3,12} = 0$

$\underline{G}_{2,13} = 0$ $\qquad$ $\underline{G}_{3,13} = 4{,}375 - j\,12{,}9$

*Tabelul 1*

| | |
|---|---|
| Generatorul | $P_n = 50$ MW; $\cos\varphi_n = 0{,}85$; $U_n = 6{,}3$ kV, $X_* = 1{,}7$, $Q_n = 30{,}5$ Mvar, $P_{max} = 50$; $Q_{max} = 30{,}5$ |
| Transformatorul T12 | $S_n = 60$ MVA; $X_* = 0{,}105$; $N_{21} = (120 \pm 4.3)/6$; $N_{21\,max} = 22$; $N_{21\,min} = 18$ |
| Transformatorul T13 | $S_n = 60$ MVA, $X_* = 0{,}105$; $N_{31} = (120 \pm 4.3)/6$; $N_{31\,max} = 22$; $N_{31\,min} = 18$ |
| Liniile | $Z_0$ ($\Omega$/km) $= 0{,}15 + j0{,}4$; $L(km) \in (L_{12}, L_{13}, L_{23}) \in (100{,}60{,}60)$ |
| Receptoarele | $S_2$ (MVA) $= (44 + 33) =$ ct.; $S_3$ (MVA) $= (33 + j\,25) =$ ct |
| Tensiunile | $U_{1n} = 6{,}3$ kV; $U_{2n} = 110$ kV; $U_{3n} = 110$ kV; $U_{2\,min} = U_{3\,min} = 95$ kV; $U_{2\,max} = U_{3\,max} = 115$ kV |

Cu relaţiile (23) se calculează termenii $\Delta P_i$, $\Delta Q_i$ şi se formează sistemul :

$$- 545{,}2\ \theta_2 + 368{,}5\ \theta_3 - 11{,}87\ U_1 + 1{,}115\ U_2 - 1{,}444\ U_3 - 3{,}56\ N_{21} = -149{,}22$$

$$371\ \theta_2 - 630\ \theta_3 - 14{,}6\ U_1 - 1{,}355\ U_2 + 1{,}54\ U_3 - 4{,}375\ N_{31} = -126{,}1$$

$$214{,}5\ \theta_2 - 145\ \theta_3 - 29{,}55\ U_1 + 4{,}3\ U_2 - 3{,}598\ U_3 - 8{,}85\ N_{21} = -307{,}1$$

$$- 133{,}9\ \theta_2 + 222\ \theta_3 - 29{,}7\ U_1 - 3{,}742\ U_2 + 5{,}752\ U_3 - 12{,}9\ N_{31} = -230{,}2 \quad (38)$$

Restricţiile de inegalitate sînt :

$$95 \leqslant U_2 \leqslant 115$$
$$95 \leqslant U_3 \leqslant 115$$
$$18 \leqslant N_{21} \leqslant 22 \quad (39)$$
$$18 \leqslant N_{31} \leqslant 22$$

Pentru a reduce numărul variabilelor şi al restricţiilor de egalitate, se elimină variabilele $\theta_2$, $\theta_3$ din sistemul (38). Se înlocuieşte, de asemenea, $U_1 = 6$ kV şi se obţine :

$$4{,}737\ U_2 - 4{,}162\ U_3 - 10{,}245\ N_{21} = -159{,}783$$

$$-4{,}222 U_2 + 6{,}299\ U_3 + 0{,}03\ N_{21} - 14{,}305\ N_{31} = -61{,}197 \quad (40)$$

a) Se aplică algoritmul simplex relaţiilor (36), (39) şi (40). Calculele s-au efectuat pe calculatorul Elliott 4120 şi s-au obţinut următoarele rezultate :

$$N_{21} = 22$$
$$N_{31} = 21{,}053$$
$$U_2 = 114{,}89$$
$$U_3 = 115$$

Se constată că transformatorul $T_{13}$ nu poate fi reglat pe priza maximă, deoarece în acest caz tensiunea receptorului $C_3$ ar depăşi limita superioară impusă.

b) Considerînd $N_{21} = N_{21\,nom} = 20$, relaţiile (40) şi (39) devin

$$4{,}737\ U_2 - 4{,}162\ U_3 = 45{,}117$$
$$- 4{,}222\ U_2 + 6{,}299\ U_3 - 14{,}305\ N_{31} = -61{,}197 \quad (41)$$

$$95 \leqslant U_2 \leqslant 115$$
$$95 \leqslant U_3 \leqslant 115 \quad (42)$$
$$18 \leqslant N_{31} \leqslant 22$$

Algoritmul simplex aplicat pe baza relaţiilor (36), (41) şi (42) a dat următoarele rezultate :

$$N_{31} = 22$$
$$U_2 = 109{,}185$$
$$U_3 = 113{,}429$$

c) Considerînd

$$N_{31} = N_{31\,nom} = 20.$$

Relaţiile (39) şi (40) devin acum :

$$4{,}737\ U_2 - 4{,}162\ U_3 - 10{,}245\ N_{21} = -159{,}783$$
$$- 4{,}222\ U_2 + 6{,}299\ U_3 + 0{,}03\ N_{21} = 224{,}91 \quad (43)$$

$$95 \leqslant U_2 \leqslant 115$$
$$95 \leqslant U_3 \leqslant 115 \quad (44)$$
$$18 \leqslant N_{21} \leqslant 22$$

Algoritmul simplex aplicat pe baza relaţiilor (36), (43) şi (44) a furnizat următoarele rezultate :

$$N_{21} = 22$$
$$U_2 = 109{,}181$$
$$U_3 = 109{,}778$$

Funcţia de eficienţă (36) ia următoarele valori :

a) $u = 1{,}04$

b) $u = 1{,}01$

c) $u = 0{,}995$

Rezultatele obţinute arată că cel mai ridicat nivel al tensiunilor la consumatori se realizează atunci cînd se acţionează asupra ambelor rapoarte de transformare. Efectul modificării raportului de transformare $N_{31}$ este mai puternic decît cel al modificării raportului de transformare $N_{21}$ ; aceasta se explică prin faptul că, în exemplul considerat, sensul circulaţiei de puteri este pe linia $L_{13}$, de la nodul 1 la nodul 3, iar pe linia $L_{32}$ de la nodul 3 la nodul 2.

## Concluzii

Utilizarea programării matematice liniare (algoritmul simplex) permite calculul regimurilor de funcţionare a sistemelor electroenergetice pentru cele mai generale condiţii care se întîlnesc în practică. Metoda propusă necesită două operaţii principale : liniarizarea ecuaţiilor de funcţionare şi aplicarea algoritmului simplex. Ambele operaţii se pot efectua folosind parţial sau integral programe deja existente.

În literatura de specialitate problema soluţionării regimului permanent este formulată ca o problemă de programare matematică neliniară. Sînt considerate ca funcţii-obiectiv costul energiei electrice şi pierderile totale în sistem.

Admiţînd prima funcţie-obiectiv, se obţine circulaţia optimă de puteri active şi reactive (dispecerizarea economică) ; admiţînd a doua funcţie-obiectiv, se obţine circulaţia optimă a puterilor reactive.

Pentru rezolvarea acestor probleme se utilizează două metode :

1. Se aplică teorema Kuhn-Tucker. Datorită volumului imens de calcule, sistemul rezultat poate fi rezolvat numai pe baza ipotezelor simplificatoare.

2. Se aplică metodele de gradient tehnic. În acest caz apar dificultăţi la introducerea restricţiilor de inegalitate.

Din cele de mai sus rezultă că metodele întîlnite în literatura de specialitate nu oferă cele mai adecvate soluţii pentru calculul regimului permanent al sistemelor electroenergetice. De aceea considerăm că problema calculului regimului permanent rămîne deschisă, şi, ca urmare, sînt necesare perfecţionări care să ducă la o abordare mai completă şi mai corespunzătoare scopului propus.

Autorii îşi propun să extindă şi să perfecţioneze metoda prezentată :

— Se vor lua în consideraţie şi alte funcţii-obiectiv care interesează în exploatarea siste-

melor electroenergetice : pierderile de putere în reţea, abaterile tensiunilor de la bornele receptoarelor.

— Se va urmări obţinerea unor rezultate mai exacte, ţinînd seama de situaţia reală, în care rapoartele de transformare sînt variabile discrete şi, ca urmare, este necesară aplicarea programării matematice liniare în numere întregi.

## ANEXĂ

### Puterile disponibile la bornele generatorului

Se consideră generatorul ideal, pentru care se dau parametrii nominali $P_n$, $\cos \varphi_n$, $U_n$ şi reactanţa sincronă relativă $X_*$. Se calculează :

$$Q_n = P_n \operatorname{tg} \varphi_n ; \; S_n = P_n / \cos \varphi_n ; \; X = X_* \, U_n^2 / S_n \quad \text{(A.1)}$$

Pentru un regim oarecare ($P \leqslant P_n$, $U \neq U_n$), se exprimă puterile la bornele generatorului ideal :

$$P = \frac{UE}{X} \sin \delta$$

$$Q = \frac{UE}{X} \cos \delta - \frac{U^2}{X} \quad \text{(A.2)}$$

în care

$E$ este tensiunea electromotoare ;

$\delta$ — decalajul tensiunii electromotoare faţă de tensiunea $U$.

Din relaţiile (A.2) se elimină $\delta$

$$P^2 + \left( Q + \frac{U^2}{X} \right)^2 = \left( \frac{UE}{X} \right)^2 . \quad \text{(A.3)}$$

Din relaţia (A.3) se exprimă succesiv $E$ şi $Q$ :

$$E = \frac{X}{U} \sqrt{P^2 + \left( Q + \frac{U^2}{X} \right)^2} \quad \text{(A.4)}$$

$$Q = \sqrt{\frac{U^2}{X^2} E^2 - P^2} - \frac{U^2}{X}$$

În prima relaţie din (A.3) se introduc valorile corespunzătoare regimului nominal şi se obţine tensiunea electromotoare maximă

$$E_{max} = \frac{X}{U_n} \sqrt{P_n^2 + \left( Q_n + \frac{U_n^2}{X} \right)^2} . \quad \text{(A.5)}$$

În a doua relaţie din (A.4) se consideră $E = E_{max}$ şi se obţine puterea reactivă maximă disponibilă la bornele generatorului

$$Q_{max} = \frac{U}{U_n} \sqrt{\left( Q_n + \frac{U_n^2}{X} \right)^2 + P_n^2 - \frac{U_n^2}{U^2} P^2} - \frac{U^2}{X} . \quad \text{(A.6)}$$

Ţinînd seamă de relaţiile (A.1), din (A.6) rezultă :

$$Q_{max} = \frac{U}{U_n} \sqrt{\left( Q_n + \frac{S_n}{X_*} \right)^2 + P_n^2 - \frac{U_n^2}{U^2} P^2} - \frac{U^2}{U_n^2} \frac{S_n}{X_*} \quad \text{(A.7)}$$

### Caracteristicile transformatoarelor

Transformatorul se reprezintă printr-o schemă echivalentă de formă Γ, care conţine o latură longitudinală şi o latură transversală, conectată la una din extremităţile laturii longitudinale (fig. 3). Pe latura longitudinală se introduce operatorul $N_{ik}$ sau $N_{ki}$, care are valorile numerice :

$$N_{ik} = N_i / N_k ; \; N_{ki} = N_k / N_i \quad \text{(A.8)}$$

în care

$N_i$ este numărul de spire al înfăşurării conectate la nodul $i$ ;

$N_k$ — numărul de spire al înfăşurării conectate la nodul $k$.

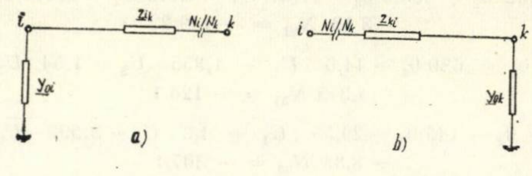


Fig. 3. Schemele echivalente ale transformatoarelor.

Parametrii $\underline{z}_{ik}$, $\underline{y}_{i,ik}$ din figura 3 *a* sînt raportaţi la înfăşurarea cu $N_i$ spire, iar parametrii $\underline{z}_{ki}$, $\underline{y}_{k,ki}$ din figura 3 *b* sînt aportaţi la înfăşurarea cu $N_k$ spire.

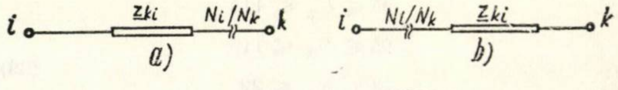


Fig. 4. Schemele echivalente simplificate ale transformatoarelor.

Avînd în vedere stabilirea relaţiilor de calcul în care intervine operatorul $N_{ik}$ sau $N_{ki}$, se face abstracţie de laturile transversale şi se obţin schemele echivalente simplificate din figura 4. Schemele din figura 4 se studiază ca reţele formate din cîte o latură, pentru care se scriu matricele de cvasiincidenţă :

$$\text{a)} \; [A] = \begin{array}{c|c|} & \\ i & 1 \\ k & -N_{ik} \end{array} \qquad \text{b)} \; [A] = \begin{array}{c|c|} & \\ i & N_{ki} \\ k & -1 \end{array} \quad \text{(A.9)}$$

Folosind metoda tensiunilor nodale, se exprimă curenţii injectaţi la nodurile $i$ şi $k$ :

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_i \\ \underline{I}_k \end{bmatrix} = \begin{array}{c} \\ i \\ k \end{array} \begin{bmatrix} \underline{Y}_{ii} & \underline{Y}_{ik} \\ \underline{Y}_{ki} & \underline{Y}_{kk} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{V}_i \\ \underline{V}_k \end{bmatrix} \quad \text{(A.10)}$$

Indiferent de extremitatea la care este conectat operatorul $N_{ik}$, termenii matricei de admitanţe nodale $\underline{Y}_{nn}$ din (A.10) au aceleaşi valori numerice. Expresiile acestor termeni sînt diferite pentru cele două scheme din figura 4.

$$\text{a)} \; [Y_{nn}] = \begin{bmatrix} 1 \\ -N_{ik} \end{bmatrix} \underline{y}_{ik} \begin{bmatrix} 1 & -N_{ik} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{y}_{ik} & -\underline{y}_{ik} N_{ik} \\ -\underline{y}_{ik} N_{ik} & \underline{y}_{ik} N_{ik}^2 \end{bmatrix}$$

(A.11-

$$\text{b)} \; [Y_{nn}] = \begin{bmatrix} N_{ki} \\ -1 \end{bmatrix} \underline{y}_{ki} \begin{bmatrix} N_{ki} & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{y}_{ki} N_{ki}^2 & \underline{y}_{ki} N_{ki} \\ -\underline{y}_{ki} N_{ki} & \underline{y}_{ki} \end{bmatrix}$$

Identificînd termenii matricelor de admitanțe din (A.10) și (A.11), rezultă

$$\underline{Y}_{ii} = \underline{y}_{ik} = \underline{y}_{ki} N_{ki}^2 \ ; \ \underline{Y}_{ik} = - \underline{y}_{ik} N_{ik} = - \underline{y}_{ki} N_{ki} \quad (A.12)$$

Pentru o latură cu transformator se dau parametrii $\underline{y}_{ik}$, $N_{ik}$ sau $\underline{y}_{ki}$, $N_{ki}$. Dacă se dau parametrii $\underline{y}_{ik}$, $N_{ik}$, se calculează $\underline{y}_{ki}$, iar dacă se dau parametrii $\underline{y}_{ki}$, $N_{ki}$, se calculează $\underline{y}_{ik}$. Termenii matricei $\underline{Y}_{nn}$ se exprimă în ambele cazuri cu relațiile (A.12).

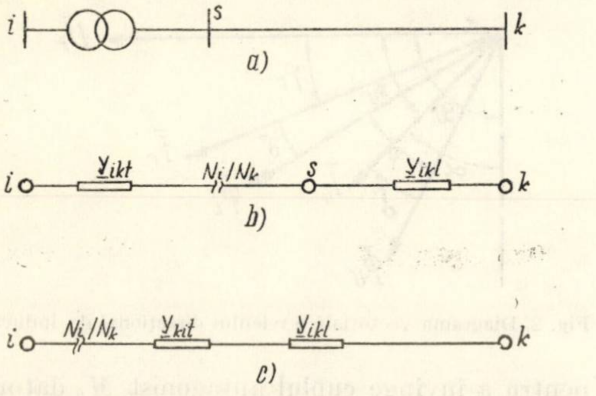



Fig. 5. Schema monofilară a unui bloc transformator-linie.

Dacă raportul $N_{ik}$ este variabil, datorită variației numărului de spire $N_i$, se poate considera cu o bună aproximație că admitanța $\underline{y}_{ki}$ este constantă. Termenii matricei $Y_{nn}$ se exprimă în funcție de $\underline{y}_{ki}$ și $N_{ik}$:

$$\underline{Y}_{ii} = \underline{y}_{ki}/N_{ik}^2 \ ; \ \underline{Y}_{ik} = - \underline{y}_{ki}/N_{ik} \ ; \ Y_{kk} = \underline{y}_{ki} \ . \quad (A.13)$$

Derivatele parțiale în raport cu $N_{ik}$ sînt:

$$\frac{\partial \underline{Y}_{ii}}{\partial N_{ik}} = - 2 \frac{\underline{y}_{ki}}{N_{ik}^3} = - 2 \ \underline{y}_{ik}/N_{ik}$$

$$\frac{\partial Y_{ik}}{\partial N_{ik}} + = \frac{\underline{y}_{ki}}{N_{ik}^2} = \underline{y}_{ik} ; \frac{\partial y_{kk}}{\partial N_{ik}} = 0. \quad (A.14)$$

În figura 5 este reprezentată o schemă-bloc transformator-linie. Raportul $N_{ki}$ este variabil datorită variației numărului de spire $N_k$ și, în consecință, admitanța $\underline{y}_{iki}$ este constantă. Se construiesc două variante ale schemei echivalente (fig, 5 *b* și *c*). Schema 5 *b* conține admitanța constantă $y_{ikt}$ și nodul suplimentar *s*. Schema 5 *c* nu conține nodul suplimentar *s*. însă admitanța $\underline{y}_{ki}$ se exprimă în funcție de admitanță variabilă $\underline{y}_{kit}$:

$$\underline{y}_{ki} = y_{kit} + \underline{y}_{ikl} \ . \quad (A.15)$$

Dat fiind că admitanța variabilă $\underline{y}_{kit}$ se însumează cu admitanța constantă $y_{ikl}$, se admite, pentru simplificarea calculelor, că admitanța totală $y_{ki}$ este constantă atunci cînd raportul $N_{ki}$ este variabil. Termenii matricei $Y_{nn}$ se exprimă în funcție de $\underline{y}_{ki}$ și $N_{ki}$:

$$\underline{Y}_{ii} = \underline{y}_{ki} N_{ki}^2 ; \underline{Y}_{ik} = - \underline{y}_{ki} N_{ki} \ ; \underline{Y}_{kk} = \underline{y}_{ki} \ . \quad (A.16)$$

Derivatele parțiale în raport cu $N_{ki}$ sînt:

$$\frac{\partial \underline{Y}_{ii}}{\partial N_{ki}} = 2 \ \underline{y}_{ki} \ N_{ki} = 2 \ \underline{y}_{ik}/N_{ki}$$

$$\frac{\partial \underline{Y}_{ik}}{\partial N_{ki}} = - \underline{y}_{ki} ; \frac{\partial y_{kk}}{\partial N_{ki}} = 0 \quad (A.17)$$

**Calculul coeficienților $\underline{F}$, $\underline{H}$, $\underline{G}$**

Se consideră funcția $\underline{\psi}_i$ din (A.14):

$$\underline{\psi}_i = \sum_{k \in n} \underline{\psi}_{ik} \ ; \ \underline{\psi}_{ik} = \underline{U}_i \ \underline{Y}_{ik}^* \ \underline{U}_k^* \quad (A.18)$$

Se diferențiază funcția $\Psi_i$ din (A.14) în ipoteza admitanțelor constante:

$$\mathrm{d}\underline{\psi}_i = \mathrm{d}\underline{U}_i \sum_{k \in n} \underline{Y}_{ik} \underline{U}_{ik}^* + \underline{U}_i \sum_{k \in n} \underline{Y}_{ik}^* \ \mathrm{d}\underline{U}_k^*, \quad (A.19)$$

în care

$$\underline{U} = U \ e^{j\theta} ; \ \mathrm{d}\underline{U} = \underline{U} \ (\mathrm{d}u + j \ d\theta) \ ; \ \mathrm{d}u = \mathrm{d}U/U. \quad (A.20)$$

Relațiile (A.20) se introduc în (A.19) și se obține

$$\mathrm{d}\underline{\psi}_i = (\mathrm{d}u_i + j\mathrm{d}\theta_i) \ \underline{\Psi}_i + \sum_{k \in n} \psi_{ik} (\mathrm{d}u_k - j\mathrm{d}\theta_k) =$$

$$= \sum_{k \in n} \underline{F}_{ik} \ \mathrm{d}U_k + \sum_{k \in n} \underline{H}_{ik} \ \mathrm{d}\theta_k , \quad (A.21)$$

în care

$$F_{ii} = \frac{1}{U_i} \left( \underline{\psi}_i + \underline{\psi}_{ii} \right) ; \ \underline{F}_{ik} = \frac{1}{U_i} \underline{\psi}_{ik} \quad (A.22)$$

$$\underline{H}_{ii} = j \ (\underline{\psi}_i - \underline{\Psi}_{ii}) \ ; \ \underline{H}_{ik} = - j \ \underline{\psi}_{ik} \ .$$

Pentru a calcula coeficienții $\underline{G}_{ij}$ cu ultimele relații din (A.19), se admite că admitanța $\underline{y}_{ki}$ a transformatorului este constantă. Raportul variabil $N_j \in (N_{ik}, N_{ki})$ intervine numai în termenii $\underline{Y}_{ii}$, $\underline{Y}_{ik}$, adică numai în funcțiile $\underline{\psi}_{ii}$, $\underline{\psi}_{ik}$, $\underline{\psi}_{ki}$ din (A.18). Introducînd (A.18) în ultima relație din (A.19), se obține:

$$G_{i,j} = \frac{\partial}{\partial N_j} (\underline{\psi}_{ii} + \underline{\psi}_{ik}) = U_i^2 \frac{\partial \underline{Y}_{ii}^*}{\partial \ N_j} + \underline{U}_i \ \underline{U}_k^* \ \frac{\partial \ y_{ik}^*}{\partial \ N_j} \quad (A. 23)$$

$$G_{k,j} = \frac{\partial}{\partial \ N_j} \ \underline{\psi}_{ki} = \underline{U}_k \ U_i^* \ \frac{\partial \ Y_{ki}^*}{\partial N_j} .$$

Derivatele admitanțelor se exprimă în două variante, corespunzătoare relațiilor (A.14) și (A.17).

Dacă raportul variabil este $N_j = N_{ik}$, din (A.23) și (A.14) se obține:

$$\underline{G}_{k,ik} = \underline{U}_k \ \underline{U}_i^* \ \underline{y}_{ik}^* = - \ \underline{\psi}_{ki}/N_{ik} \quad (A.24)$$

$$\underline{G}_{i,ik} = - \ 2 U_i^2 \frac{\underline{y}_{ik}^*}{N_{ik}} - \underline{\psi}_{ik}/N_{ik}$$

Dacă raportul variabil este $N_j = N_{ki}$, din (A.23) și (A.17) se obține:

$$G_{k,ki} = - \ U_k \ U_i^* \ \underline{y}_{ki}^* = \underline{\psi}_{ki}/N_{ki} \quad (A.25)$$

$$\underline{G}_{i,ki} = 2 U_i^2 \ \frac{\underline{y}_{ik}^*}{N_{ki}} + \underline{\psi}_{ik}/N_{ki}$$

**Bibliografie**


[1] Potolea, E. A. *Calculul regimului permanent al sistemelor electrice.* București, 1967.

[2] Potolea, E. A. *Matrizenberechnung von elektroenergetischen Netzen mit Transformatoren.* Archiv für Elektrotechnik, 1970, nr. 5, p. 276—289.

[3] Carpentier, J. *Contribution à l'étude de dispatching économique.* Bull. Soc. Française Electr., vol. 3, august 1962.

[4] Simonnard, M. *Programation linéaire.* Dunod Paris, 1962.

[5] Dragomirescu, N și Malița, M. *Programarea pătratică.* București, 1969.

[6] Hano, I., Tamura, Y., Seinosuke Narita, S. și Matsumota, K. *Real Time Control of System Voltage and Reactive Power.* I.E.E.E. Trans P.A.S. *88*, octombrie 1969.

[7] Zollenkopf, K. *Optimal Adjustment of Transformer Tap Settings.* P.S.C.C., Stockholm, 1965.

[8] Tinney, W. F. și Hart, E.C. *Power Flow Solution by Newton's Method.* I.E.E.E. P.A.S., *86*, nr. 11.

[9] Krumm, L. A. *Oboșceniia gradientnovo metoda optimizații rejima obedineniia energosistem.* Energhetika i transport, nr. 3, 1965.

[10] Peschon, Tinney, W.F., Piercy D., S., Tveit, O. S. și Cuénod, M. *Optimum Control of Reactive Power Flow.* I.E.E.E Trans. P.A.S. 87, 1968, p. 40—48,


**(Articol intrat în redacție la 17 februarie 1971)**

# Studiu şi calcule cu privire la reducerea zonei moarte a releelor direcţionale

Ing. C. Ivaşcu *)

## Principiul de funcţionare a releelor direcţionale

Protecţia reţelelor radiale cu mai multe surse de alimentare împotriva scurtcircuitelor poate fi realizată cu ajutorul releelor direcţionale de putere, care împreună cu releele de timp asigură selectivitatea schemei de protecţie [1], [3].

Cele mai răspîndite relee direcţionale sînt realizate pe principiul de inducţie cu rotor cilindric (fig. 1), pentru care expresia cuplului activ este :

$$M = K\,\Phi_i\,\Phi_u \sin\varphi, \qquad (1)$$

în care

$\Phi_i$ este fluxul produs de curentul din bobina de curent ;
$\Phi_u$ — fluxul produs de curentul din bobina de tensiune ;
$\varphi$ — unghiul dintre fluxurile $\O_i$ şi $\O_u$ ;
$k$ — un factor de proporţionalitate care depinde de caracteristicile constructive ale releului.

Avînd în vedere că, pînă la saturaţia circuitului magnetic, fluxurile pot fi considerate proporţionale cu curenţii care îi produc, expresia (1) devine :

$$M = k\,I_r\,U_r \sin\varphi, \qquad (2)$$

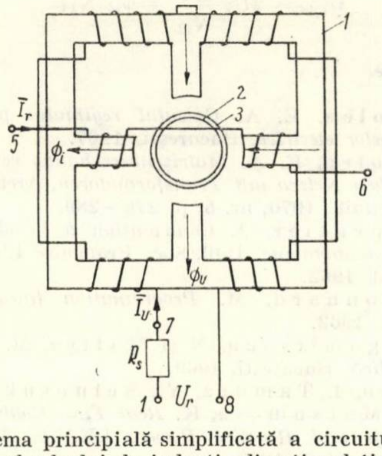



Fig. 1. Schema principială simplificată a circuitului electric şi magnetic al releului de inducţie direcţional tip IMB-171 : *1* – circuit magnetic ; *2* – miez de fier ; *3* – rotor cilindric din aluminiu.

în care $I_r$ şi $U_r$ sînt mărimile (curent şi tensiune) aduse la releu.

Din diagrama vectorială a releului direcţional (fig. 2) se observă uşor că expresia (2) se poate scrie sub forma :

$$M = k\,U_r\,I_r \cos(\varphi_r + \alpha), \qquad (3)$$

în care $\varphi_r$ este unghiul dintre $\underline{U}_r$ şi $\underline{I}_r$, iar $\alpha$ este unghiul de defazaj interior al releului.

Pentru ca relul să acţioneze, cuplul activ $M$ trebuie să fie îndreptat în sensul închiderii contactelor şi să aibă o valoare minimă necesară

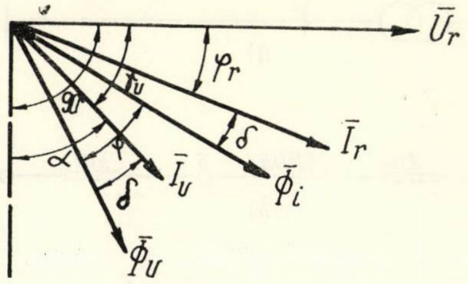



Fig. 2. Diagrama vectorială a releului direcţional de inducţie.

pentru a învinge cuplul antagonist $M_D$ datorat resortului şi frecărilor.

Din expresia (3) se vede că releele direcţionale au o zonă moartă în imediata vecinătate a locului de montare a lor, în care, dacă se produc scurtcircuite, releele nu pot acţiona, cuplul lor activ fiind nul sau foarte mic datorită faptului că tensiunea $U_r$, aplicată bobinei de tensiune a releului, este nulă sau foarte mică.

Problema zonelor moarte se pune în cazul scurtcircuitelor metalice, nete, deci mai puţin la linii electrice aeriene, la care scurtcircuitele se produc cu arc electric, şi mai mult la liniile de cablu, deoarece în acestea scurtcircuitele trifazate nete sînt mai dese.

Dacă s-ar menţine după apariţia scurtcircuitului tensiunea minimă de pornire la bornele releului un timp egal cu timpul propriu de acţionare, releul ar acţiona. Aceasta se poate realiza dacă în circuitul înfăşurării releului, conectată la tensiunea $U_r$, se introduce un condensator a cărui capacitate se alege astfel, încît circuitul studiat să fie acordat pentru rezonanţă la frecvenţa de 50 Hz.

Cu alte cuvinte, se foloseşte fenomenul descărcării oscilante amortizate în circuitul de tensiune a releului [4]. La dispariţia tensiunii $U_r$, curentul descărcării oscilante amortizate (avînd aceeaşi fază ca şi curentul dinainte de scurtcircuit) asigură cuplul necesar pornirii. Metoda este menţionată în literatură [2] pentru relee direcţionale şi de distanţă direcţionale, fără a se face însă precizări referitoare la calculul circuitului, respectiv la valorile condensatoarelor ce trebuie folosite.

În lucrare se prezintă relaţiile de calcul, se dau nomograme pentru calcule şi se calculează valoarea capacităţii condensatorului pentru un releu direcţional tip IMB 171, releu foarte răspîndit în schemele de protecţie din România. Se prezintă apoi şi rezultatele experimentării schemei în condiţii de laborator.

*) Ing. Cornelia Ivaşcu este şef de lucrări la Facultatea de electrotehnică a Institutului politehnic Timişoara.

**Deducerea relației de calcul al capacității pentru schema de „memorizare"**

Schema prevăzută pentru micșorarea zonei moarte a releului direcțional se va numi în continuare schemă de „memorizare", pentru că ea permite păstrarea nivelului tensiunii la bornele bobinei de tensiune (memorizarea tensiunii) un timp oarecare și după aceasta s-a micșorat sau s-a anulat, din circuitul de protejat, datorită scurtcircuitului.

Capacitatea schemei de memorizare se leagă în serie sau în paralel cu bobina de tensiune a releului și se alege astfel încît circuitul studiat să fie acordat pentru rezonanță la frecvența de 50 Hz. Pentru a afla condiția de rezonanță, trebuie studiat, de exemplu, circuitul din figura 3, în care $L$ și $R$ reprezintă parametrii bobinei de tensiune a releului direcțional, iar $C$ capacitatea condensatorului schemei de memorizare.

Dacă se consideră că tensiunea $U_r$ are o variație sinusoidală, pentru circuitul din figura 3 se poate scrie:

$$U_{r\,max} \sin \omega t = \frac{q}{C} + iR + L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}, \qquad (4)$$

în care

$\omega = 2\pi f$, cu $f = 50$ Hz (frecvența tensiunii $U_r$);

$$q = \int i \ \mathrm{d}t.$$

Derivînd (4), se obține

$$\omega U_{r\,max} \cos \omega t = \frac{i}{C} + R\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + L\frac{\mathrm{d}^2 i}{\mathrm{d}t^2}. \qquad (5)$$

Frecvența proprie $\nu$ a circuitului din figura 3 se obține din soluția ecuației

$$\frac{i}{C} + R\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + L\frac{\mathrm{d}^2 i}{\mathrm{d}t^2} = 0. \qquad (6)$$

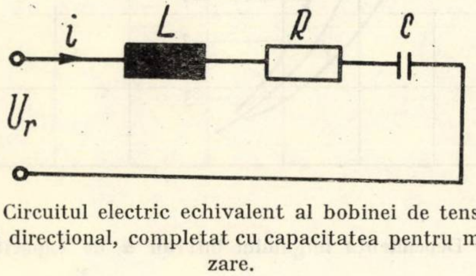



Fig. 3. Circuitul electric echivalent al bobinei de tensiune a releului direcțional, completat cu capacitatea pentru memorizare.

Soluția este de forma

$$i = i_0 e^{\lambda t}. \qquad (7)$$

Înlocuind relația (7) în (6), rezultă

$$\lambda = \frac{-R \pm \sqrt{\frac{R^2 - 4L}{C}}}{2L} = \frac{-R}{2L} \pm$$

$$\pm j\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}} = -\frac{R}{2L} \pm j\nu, \qquad (8)$$

unde se observă ușor că

$$\nu = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}. \qquad (9)$$

este frecvența proprie a circuitului.

Condiția de rezonanță devine

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}} \qquad (10)$$

Din (10) se poate calcula valoarea capacității necesar a fi introdusă în circuit

$$C = \frac{4L}{4L^2\omega^2 + R^2}. \qquad (11)$$

În acest caz, la apariția unui scurtcircuit însoțit de scăderea tensiunii $U_r$, de exemplu pînă la zero, în circuit se produce o descărcare oscilatorie cu frecvența de 50 Hz. De aceea, cu toate că tensiunea $U_r$, adusă la releu din circuitul de protejat, a dispărut, în înfășurarea releului se menține un timp oarecare un curent care permite acționarea acestuia.

Pentru o rezolvare rapidă a problemei se pot folosi nomograme care dau valoarea acestei capacități. Astfel, în lucrare, pe baza relației (11) s-au obținut, cu calculatorul numeric "Programa 101", curbele de variație ale capacității $C$ în funcție de inductivitatea bobinei de tensiune, avînd rezistența acesteia ca parametru, adică $C = f(L)$ pentru $R =$ const. (fig. 4).

**Sensibilitatea releului direcțional prevăzut cu schemă de memorizare**

Se știe că sensibilitatea releului direcțional se apreciază prin unghiul interior de sensibilitate maximă $\alpha = -\varphi_r$, care permite obținerea cuplului activ maxim în regim de avarie. Pentru asigurarea sensibilității releelor montate în rețele cu diferite caracteristici (diferite unghiuri $\varphi_r$), releele direcționale se execută cu posibilități de modificare a unghiurilor interioare ($\alpha = 30°, 45°, 60°$ etc.).

Din figura 2 se observă că

$$\alpha = 90° - \gamma_u, \qquad (12)$$

iar

$$\gamma_u = \operatorname{arc\,tg} \frac{X}{R}, \qquad (13)$$

în care $X$ și $R$ reprezintă reactanța și, respectiv, rezistența circuitului de tensiune a releului.

Prin introducerea unei capacități în serie cu circuitul de tensiune al releului, unghiul $\alpha$ se modifică evident în sensul măririi lui și, implicit, scade sensibilitatea protecției direcționale

montate în aceeaşi reţea, dar acest lucru este compensat, în primele momente ale scurtcircuitului, de mărirea tensiunii aplicate bobinei de tensiune.

De exemplu, pentru protecţia împotriva scurtcircuitelor trifazate pe linii aeriene, în

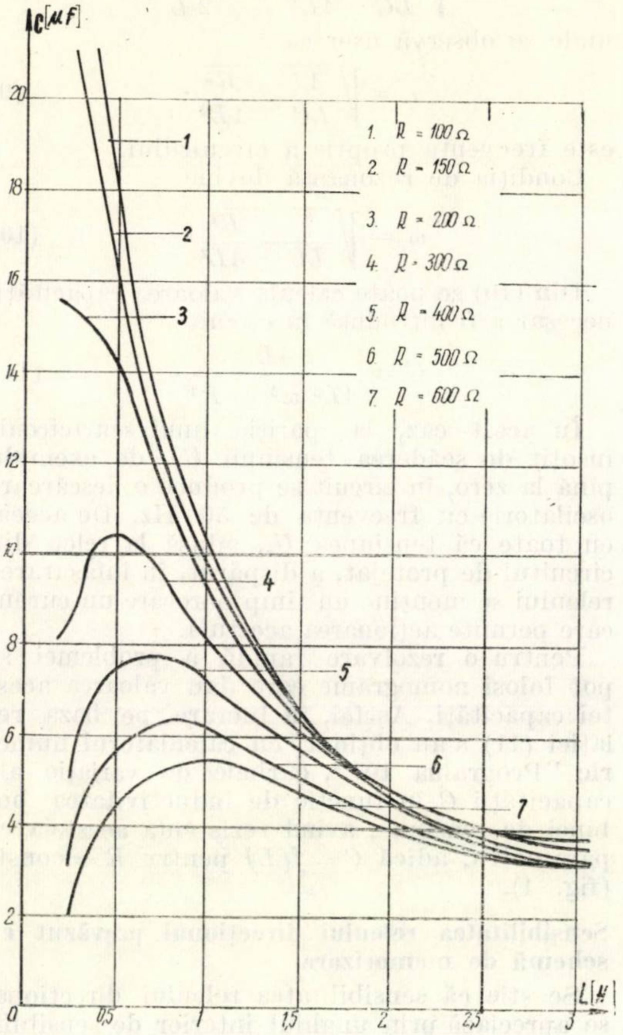



Fig. 4. Nomogramă pentru calculul capacităţii ce trebuie introdusă în circuitul bobinei de tensiune a releului în vederea micşorării zonei moarte, $C = f(L)$ pentru $R =$ const.

vederea asigurării sensibilităţii maxime [1], se folosesc relee direcţionale cu unghiul interior

$$\alpha = 90° - \text{arc tg}\ \omega \frac{L}{R} = 30°. \quad (14)$$

Dacă aceste relee sînt prevăzute cu dispozitive de memorizare, ele vor avea unghiul interior

$$\alpha_{rez} = 90° - \text{arc tg}\left(\omega \frac{L}{R} - \frac{1}{\omega RC}\right) > 30°. \quad (15)$$

Micşorarea sensibilităţii este în funcţie de valoarea capacităţii dispozitivului de memorizare. În astfel de situaţii trebuie alese însă relee cu alte unghiuri interioare iniţiale ($\alpha < 30°$), astfel încît prin introducerea capacităţii să se obţină $\alpha_{rez} \cong 30°$.

Dacă releul se va monta împreună cu capacitatea de memorizare în schema de protecţie, trebuie recalculat noul unghi interior al releului, cunoscîndu-se astfel în ce fel de reţele se va atinge sensibilitatea maximă. În acest scop pot servi nomogramele din figura 5, care reprezintă dependenţa unghiului $\alpha$ interior al releului de capacitatea C, intercalată în serie în circuitul de tensiune, pentru diferite rapoarte $\frac{X}{R}$ caracteristice releelor.

Prin prevederea unei capacităţi în paralel cu circuitul de tensiune al releului, sensibilitatea acestuia nu se modifică.

## Calculul schemei de memorizare pentru releul IMB 171

Pentru releul IMB 171 s-au determinat parametrii bobinei de tensiune prin metoda celor trei ampermetre, obţinîndu-se :

a) Pentru circuitul dintre bornele 7—8 :

$$R = 250 \text{ ohmi}; \ X = 435 \text{ ohmi};$$

$$L = 1{,}39 \text{ henry}.$$

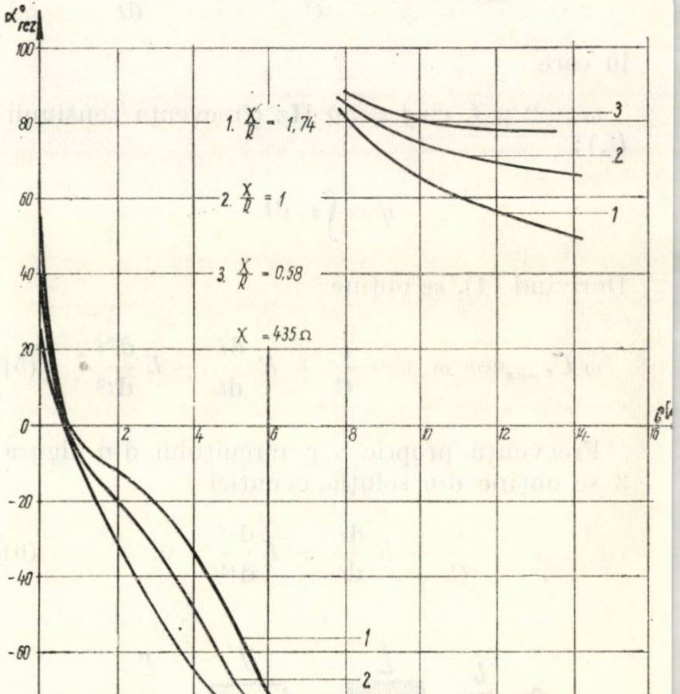



Fig. 5. Dependenţa unghiului interior $\alpha$ de capacitatea C, pentru diferite rapoarte $\frac{X}{R}$.

Deci, conform relaţiei (11)

$$C = 6{,}76 \ \mu F,$$

iar din relațiile (13), (12) și (16) rezultă

$$\alpha = 30°.$$

b) Pentru circuitul dintre bornele 1—8:

$$R = 450 \text{ ohmi}; \; X = 435 \text{ ohmi};$$

$$L = 1{,}39 \text{ henry}.$$

— calculată cu (11) se obține o reducere a acestei zone la 0,79 Ω (cu 80%) pentru alimentare între bornele 7—8, respectiv la 0,61 Ω (cu 89,5%) pentru alimentarea între bornele 1—8. Modificînd apoi valoarea capacității legată în paralel pe bobina de tensiune a releului direcțional, s-a măsurat variația lungimii zonei moarte a acestuia, obținîndu-se depen-

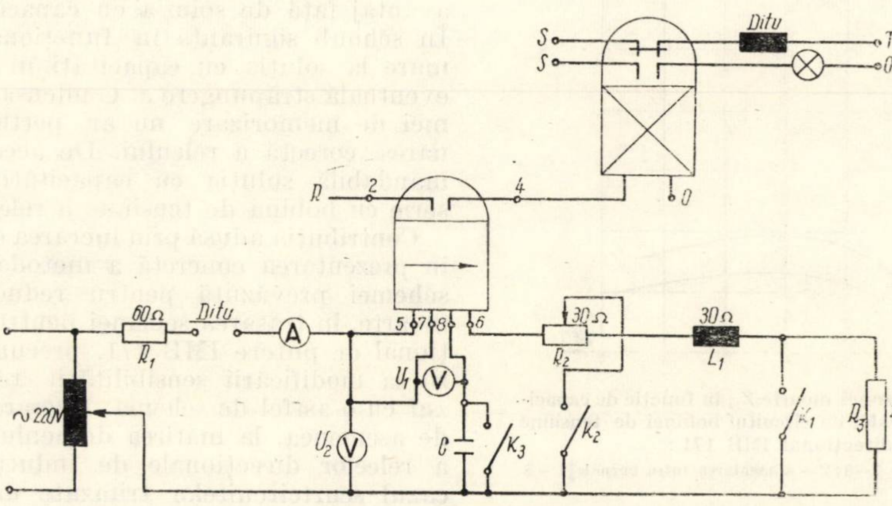



Fig. 6. Schemă pentru verificarea în laborator a dispozitivului de memorizare.

Deci

$$C = 5{,}78 \; \mu F$$

$$\alpha = 46°$$

**Experimentarea schemei pentru un releu direcțional tip IMB 171**

În vederea experimentării s-a întocmit montajul din figura 6, în care, în regim normal, la bobina de tensiune a releului s-a aplicat tensiunea de 100 V, iar prin circuitul bobinei de curent trecea un curent de 0,044 A.

De observat că în rețeaua modelată pentru experimentări la scurtcircuite în $K_1$, $\varphi_r = 45°$ și, ca urmare, releul va trebui conectat cu circuitul de tensiune dintre bornele 1—8 pentru a asigura o sensibilitate maximă. Pentru scurtcircuite în $K_2$, $\varphi_r = 0°$; deci pentru a se asigura sensibilitatea maximă ar fi necesar un releu cu unghiul interior $\alpha = 0°$.

Modificînd valoarea capacității înseriată cu bobina de tensiune a releului direcțional, s-a măsurat variația lungimii zonei moarte a acestuia, obținîndu-se dependența din figura 7, în care lungimea zonei moarte a fost dată prin valoarea impedanței corespunzătoare.

În cazul lipsei schemei de memorizare s-a putut identifica o zonă moartă de 3,10 Ω pentru alimentarea releului între bornele 7—8, respectiv de 5,74 Ω în cazul alimentării între bornele 1—8. Din figura 7 se observă că, prin prevederea în serie în circuit a capacității de rezonanță

dența din figura 8, din care se observă că, prin prevederea în circuit a capacității de rezonanță, se obține o reducere a acestei zone la 0,88 Ω (cu 71,5 %) pentru alimentarea între bornele 7—8, respectiv la 0,685 Ω (cu 88%) pentru alimentarea între bornele 1—8.

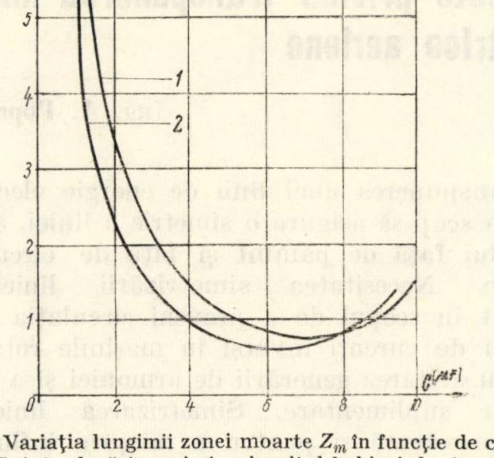



Fig. 7. Variația lungimii zonei moarte $Z_m$ în funcție de capacitatea $C$, introdusă în serie în circuitul bobinei de tensiune a releului direcțional IMB 171:

1 — alimentarea între bobinele 7—8; 2 — alimentarea între bobinele 1—8

Din figurile 7 şi 8 se observă că prevederea unei capacităţi mult diferite de cea de rezonanţă, pe lîngă faptul că nu realizează scopul

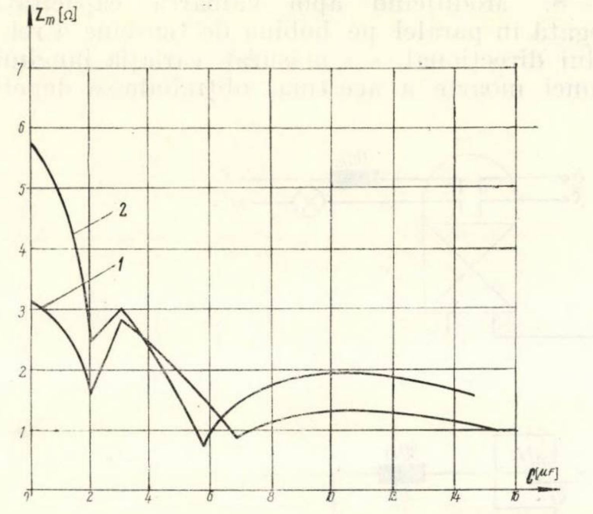



Fig. 8. Variaţia lungimii zonei moarte $Z_m$ în funcţie de capacitatea C, introdusă în paralel cu circuitul bobinei de tensiune a releului direcţional IMB 171 :

1 – alimentarea între bornele 7–8; 2 – alimentarea între bornele 1 – 8

propus, de a reduce zona moartă, o poate chiar mări.

## Concluzii

Soluţia propusă se recomandă în special la protecţia maximală de curent direcţională a cablurilor la care sînt posibile scurtcircuite nete. Aplicarea ei este simplă şi economică, iar cu nomogramele indicate se poate obţine rapid.

Este de remarcat necesitatea folosirii capacităţii de valoare corectă rezultată din calcul, pentru a se obţine reducerea maximă a zonei moarte.

Sub aspectul eficienţei, soluţiile cu capacitate în serie, respectiv în paralel cu bobina de tensiune sînt identice, dar prevederea capacităţii în paralel evită modificarea unghiului interior al releului, ceea ce, evident, este un avantaj faţă de soluţia cu capacitate în serie. În schimb siguranţa în funcţionare este mai mare la soluţia cu capacităţi în serie, cînd o eventuală străpungere a condensatoarelor schemei de memorizare nu ar perturba funcţionarea corectă a releului. De aceea este recomandabilă soluţia cu capacităţi montate în serie cu bobina de tensiune a releului .

Contribuţia adusă prin lucrarea de faţă constă în prezentarea concretă a metodei de calcul a schemei prevăzută pentru reducerea zonelor moarte, în trasarea schemei pentru releul direcţional de putere IMB 171, precum şi în analizarea modificării sensibilităţii releului prevăzut cu o astfel de schemă. Lucrarea contribuie, de asemenea, la mărirea domeniului de folosire a releelor direcţionale de inducţie şi pentru cazul scurtcircuitelor trifazate din apropierea locului de montare a protecţiei.

### Bibliografie


[1] Călin, S. şi Marcu, S. *Protecţia prin relee a sistemelor electrice*. Editura tehnică, Bucureşti, 1965.

[2] Fedoseev, A. M. *Protecţia prin relee a sistemelor electrice*. Traducere din limba rusă. E.E.S., Bucureşti, 1955.

[3] Ivaşcu, C. *Protecţia prin relee a sistemelor electrice*. Institutul politehnic Timişoara, 1970.

[4] Rüdenberg, R. *Fenomene tranzitorii în sistemele electroenergetice*. Traducere din limba engleză. Editura tehnică, Bucureşti, 1959.


(Articol intrat în redacţie la 29 aprilie 1971)

# Aspecte privind transpunerea liniilor electrice aeriene

Ing. A. Popescu*)

Transpunerea unei linii de energie electrică are ca scop să asigure o simetrie a liniei, a circuitului faţă de pămînt şi faţă de circuitele vecine. Necesitatea simetrizării liniei a apărut în scopul de a preveni circulaţia unui sistem de curenţi inverşi în maşinile rotative pentru evitarea generării de armonici şi a pierderilor suplimentare. Simetrizarea liniei a fost prevăzută şi pentru a micşora influenţa liniilor electrice aeriene asupra liniilor electrice de telecomunicaţii.

În ultima vreme au apărut orientări noi în domeniul transpunerii liniilor electrice aeriene. Astfel, ca urmare a folosirii liniilor electrice de înaltă tensiune, în transmisia prin înaltă frecvenţă, a apărut problema netranspunerii liniilor în scopul creşterii randamentului transmisiei prin înaltă frecvenţă [1]. În literatura sovietică [2] se studiază posibilitatea creşterii lungimii de linie netranspuse, avînd în vedere considerente de ordin economic, precum şi necesitatea organizării mai eficiente a canalelor de telefonie de înaltă frecvenţă. În Franţa [3] se analizează dezechilibrul tensiunii şi curentului într-o reţea trifazată, avînd linii cu conductoare transpuse neregulat, în scopul stabilirii modului de realizare a ciclurilor de transpunere.

*) Anca Popescu este inginer proiectant la ISPE.

*Tabelul 1*

**Caracteristicile liniilor electrice aeriene**

| Transpunerea | Tipul liniei | Matricea rezistenței liniei în coordonate modale, Ω/km | | | Matricea reactanței inductive în coordonate modale, Ω/km | | | Matricea capacității liniei în coordonate modale, nF/km | | | Matricea constantelor de propagare în coordonate modale, rad/100 km | | | Atenuarea liniei în coordonate modale, db/100 km | | | Impendanța caracteristică în coordonate modale, Ω | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Completă 1,2,3 ; 2,3,1 ; 3,1,2 | LEA — 220 kV c.a. OL-AL-450 c.p.OL-70 legat la pămînt | 0,07 | 0 | 0 | 0,404 | 0 | 0 | 6,6 | 0 | 0 | 0,1054 | 0 | 0 | 0,0789 | 0 | 0 | 383 | 0 | 0 |
| | | 0 | 0,07 | 0 | 0 | 0,404 | 0 | 0 | 8,79 | 0 | 0 | 0,1054 | 0 | 0 | 0,0789 | 0 | 0 | 383 | 0 |
| | | 0 | 0 | 0,214 | 0 | 0 | 0,912 | 0 | 0 | 8,8 | 0 | 0 | 0,1357 | 0 | 0 | 0,136 | 0 | 0 | 672 |
| | LEA-220 kV c.a.OL-AL-450c.p.OL-AL 150/95legat la pămînt | 0,07 | 0 | 0 | 0,404 | 0 | 0 | 6,69 | 0 | 0 | 0,1052 | 0 | 0 | 0,0793 | 0 | 0 | 383 | 0 | 0 |
| | | 0 | 0,07 | 0 | 0 | 0,404 | 0 | 0 | 8,83 | 0 | 0 | 0,1052 | 0 | 0 | 0,0793 | 0 | 0 | 383 | 0 |
| | | 0 | 0 | 0,1675 | 0 | 0 | 0,7568 | 0 | 0 | 8,83 | 0 | 0 | 0,1261 | 0 | 0 | 0,1188 | 0 | 0 | 609,9 |
| Incompletă 1,2,3 ; 2,3,1 | LEA-220 kVc.a.OL-Al-450 c.p.OL-70 legat la pămînt | 0,07 | 0 | 0 | 0,3838 | 0 | 0 | 6,24 | 0 | 0 | 0,1051 | 0 | 0 | 0,07725 | 0 | 0 | 365,5 | 0 | 0 |
| | | 0 | 0,07 | 0 | 0 | 0,4084 | 0 | 0 | 8,71 | 0 | 0 | 0,105 | 0 | 0 | 0,07945 | 0 | 0 | 388,2 | 0 |
| | | 0 | 0 | 0,214 | 0 | 0 | 0,922 | 0 | 0 | 9,18 | 0 | 0 | 0,1357 | 0 | 0 | 0,138 | 0 | 0 | 678,9 |
| | LEA-220 kV c.a.OL-Al-450c.p. OL-AL150 /95 legat la pămînt | 0,07 | 0 | 0 | 0,3838 | 0 | 0 | 6,3 | 0 | 0 | 0,105 | 0 | 0 | 0,0778 | 0 | 0 | 365,7 | 0 | 0 |
| | | 0 | 0,07 | 0 | 0 | 0,4059 | 0 | 0 | 8,72 | 0 | 0 | 0,10485 | 0 | 0 | 0,0786 | 0 | 0 | 386,8 | 0 |
| | | 0 | 0 | 0,1675 | 0 | 0 | 0,765 | 0 | 0 | 9,18 | 0 | 0 | 0,124 | 0 | 0 | 0,1212 | 0 | 0 | 618 |
| Netranspunere 1,2,3 | LEA-220 kV c.a.OL-Al-450 c.p.OL-70 legat la pămînt | 0,07 | 0 | 0 | 0,3758 | 0 | 0 | 6,42 | 0 | 0 | 0,1048 | 0 | 0 | 0,0746 | 0 | 0 | 358,4 | 0 | 0 |
| | | 0 | 0,07 | 0 | 0 | 0,432 | 0 | 0 | 8,282 | 0 | 0 | 0,106 | 0 | 0 | 0,0775 | 0 | 0 | 407,5 | 0 |
| | | 0 | 0 | 0,214 | 0 | 0 | 0,912 | 0 | 0 | 9,32 | 0 | 0 | 0,1357 | 0 | 0 | 0,141 | 0 | 0 | 672,2 |
| | LEA-220 kV c.a.OL-AL-450c.p.OL-AL 150/95legat lapămînt | 0,07 | 0 | 0 | 0,3758 | 0 | 0 | 6,476 | 0 | 0 | 0,1048 | 0 | 0 | 0,0745 | 0 | 0 | 358,4 | 0 | 0 |
| | | 0 | 0,07 | 0 | 0 | 0,4299 | 0 | 0 | 8,289 | 0 | 0 | 0,1058 | 0 | 0 | 0,0749 | 0 | 0 | 406,3 | 0 |
| | | 0 | 0 | 0,1675 | 0 | 0 | 0,7565 | 0 | 0 | 9,319 | 0 | 0 | 0,1248 | 0 | 0 | 0,1245 | 0 | 0 | 609,6 |

Lucrarea de față își propune să analizeze criteriile de stabilire a necesității transpunerii liniilor electrice aeriene.

## 1. Parametrii liniilor electrice aeriene

Pentru analiza criteriilor de stabilire a necesității transpunerii, este necesar să se determine variația parametrilor liniei în funcție de

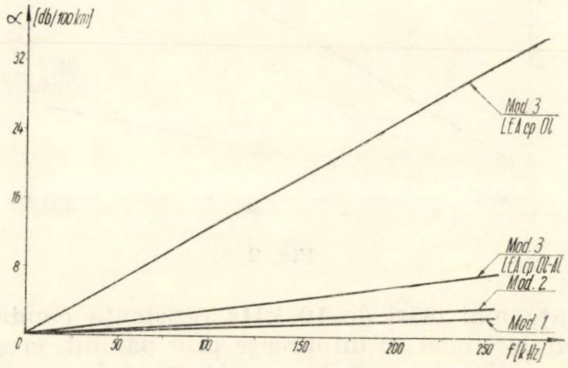



Fig. 1

pozițiile ocupate de conductoare în cadrul ciclurilor de transpunere. În tabelul 1 se indică parametrii electrici ai liniilor de 220 kV, în componente modale, în cazul transpunerii, transpunerii incomplete și netranspunerii. Astfel se constată că, în urma unei transpuneri complete, reactanța de secvență directă devine egală cu reactanța de secvență inversă. Această concluzie se poate trage în cazul tuturor parametrilor.

Avînd în vedere utilizarea liniilor de înaltă tensiune și pentru transmisii prin înaltă frecvență, apare necesar să se analizeze influența frecvenței asupra parametrilor liniei. În figurile 1, 2 și 3 se reprezintă variația parametrilor liniilor de 220 kV în funcție de frecvență.

Din analiza figurii 1 rezultă că atenuarea pe „Modul 1" și „Modul 2" nu diferă în mod esențial în funcție de frecvență. Atenuarea pe „Modul 3" este mult mai mare decît atenuările pe „Modurile 1 și 2". Se observă, de asemenea, că atenuarea pe „Modul 3" este mult mai pronunțată (de aproximativ 4 ori mai mare) în cazul liniei electrice aeriene de 220 kV cu conductor de protecție din oțel (OL 70), în comparație cu aceeași linie, avînd însă conductor de protecție din oțel-aluminiu (OL-Al 150/95).

Rezultă, deci, că în cazul transmisiei semnalelor prin înaltă frecvență randamentul transmisiei este mai mare în cazul liniilor electrice prevăzute cu conductoare de protecție de mare conductibilitate.

Din figura 2 se constată variația rezistenței pe „Modul 3" în funcție de frecvență. Se observă că rezistența crește cu creșterea frecvenței. Cu creșterea frecvenței, în valoarea rezistenței

liniei cu întoarcere prin pămînt ponderea importantă o capătă rezistenţa căii de întoarcere prin pămînt. La frecvenţe pînă la 10 kHz rezistenţa căii de întoarcere prin pămînt a curentului este proporţională cu frecvenţa, iar la frec-

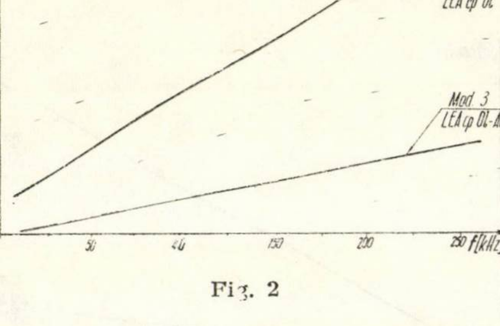



Fig. 2

venţe mai mari de 10 kHz rezistenţa conductoarelor liniei cu întoarcere prin pămînt creşte proporţional cu rădăcina pătrată a frecvenţei. Trebuie remarcat faptul că inductanţele proprii ale conductoarelor liniei scad nesubstanţial cu creşterea frecvenţei. Capacitatea conductoarelor liniei nu este însă dependentă de frecvenţa liniei. În figura 3 se reprezintă variaţia constantei de propagare a liniei în funcţie de frecvenţă şi se constată că diferenţa între „Modurile 1 şi 3" este neesenţială.

## 2. Influenţa transpunerilor liniilor electrice aeriene asupra regimurilor simetrice staţionare

Linia electrică aeriană netranspusă sau incomplet transpusă reprezintă o sursă de asimetrie în sistem. Dezechilibrul care apare în acest caz se manifestă prin apariţia componentelor de secvenţă inversă şi homopolară de tensiune şi curent. În aceste condiţii rezultă

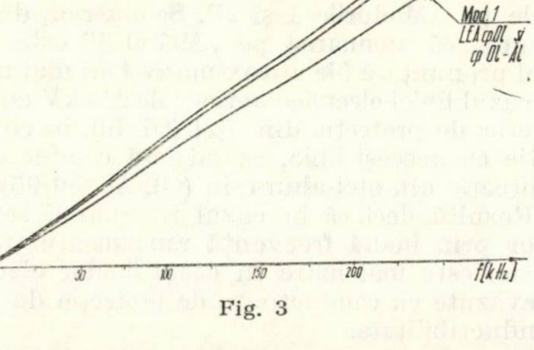



Fig. 3

o inegalitate a modulelor tensiunilor celor trei faze, care are drept urmare o diminuare a puterii de transport a reţelei. Inconvenientul principal este însă faptul că aceasta provoacă circulaţia unui sistem de curenţi inverşi în maşinile rotative.

Din literatura franceză [3] rezultă că este admis fără pericol, în regim permanent, un dezechilibru de curent invers de 6—8 % în maşini sincrone, ceea ce corespunde la un dezechilibru de tensiune inversă la bornele lor de ordinul 2 %. Cum în reţea există şi alte cauze de dezechilibru (sarcini fluctuante, sarcini monofazate), în Franţa se consideră prudent a nu tolera ca dezechilibrul de tensiune inversă să fie mai mare de 0,5—0,7 %.

În literatura sovietică [2] se precizează că valoarea admisibilă limită a raportului dintre tensiunea inversă şi tensiunea directă ($U_2/U_1$) este de 2% pentru tensiunile înalte (110—500 kV), ceea ce creează o oarecare rezervă. De asemenea, se precizează faptul că, întrucît în sistemele energetice pot funcţiona atît generatoare de construcţie veche, cît şi generatoare cu parametri înrăutăţiţi, este admisibil un raport între curentul de secvenţă inversă şi directă egal cu 3%.

Conform normelor ASA C 5013—1965, se admite un dezechilibru de curent invers de 8% pentru turbogeneratoare.

Se observă deci că pentru a renunţa la transpunerea unei linii este necesar să se evalueze gradul de asimetrie care ar rezulta în acest caz, pentru a se stabili posibilitatea funcţionării normale a generatoarelor şi a consumatorilor.

Calculul dezechilibrului în regim normal de funcţionare se poate face cu ajutorul formulelor aproximative sau pe calculatoare cifrice, după o metodologie precisă [2]. Din compararea rezultatelor se constată că utilizarea metodologiei de calcul simplificată nu conduce la rezultate eronate.

În figurile 4 şi 5 se prezintă modul de variaţie a dezechilibrului curenţilor de secvenţă inversă ($I_2/I_1$) şi homopolară ($I_0/I_1$) în cazul liniilor electrice de 220 şi 400 kV netranspuse, în funcţie de lungimea liniei şi puterea de scurtcircuit a sistemului.

Din analiza rezultatelor se constată că valorile maxime ale curenţilor de secvenţă inversă şi homopolară nu depăşesc valorile 7% $I_1$ şi, respectiv, 1,5% $I_1$ pentru liniile de 220 kV. Pentru liniile de 400 kV valorile maxime ale curenţilor de secvenţă inversă şi homopolară nu depăşesc 8,5% $I_1$, respectiv 1,5% $I_1$.

Prezenţa conductoarelor de protecţie din oţel-aluminiu (OL-Al 150/95) conduce la micşorarea raportului $I_2/I_1$ şi la mărirea raportului $I_0/I_1$, în comparaţie cu cazul conductoarelor de protecţie din oţel (OL 70). Avînd în vedere că în toate cazurile factorul delimitativ este asimetria secvenţei inverse, rezultă că se poate considera că conductoarele de protecţie din oţel-aluminiu au efect de simetrizare a liniilor netranspuse.

Existenţa la liniile electrice aeriene a conductoarelor de protecţie izolate determină creşterea raportului $I_2/I_1$ în comparaţie cu cazul conductoarelor de protecţie legate la pămînt Rezultă că prin legarea la pămînt a conductoarelor de protecţie se asigură o simetrizare a liniilor electrice netranspuse.

se determină în cazul scurtcircuitului monofazic, deoarece curenţii de scurtcircuit monofazic de pe linia de energie pot provoca influenţe magnetice în liniile de telecomunicaţii. Tensiunea prin cuplaj rezistiv, în vecinătatea stîlpilor de energie, depinde de partea curentului inductor care trece prin instalaţia de

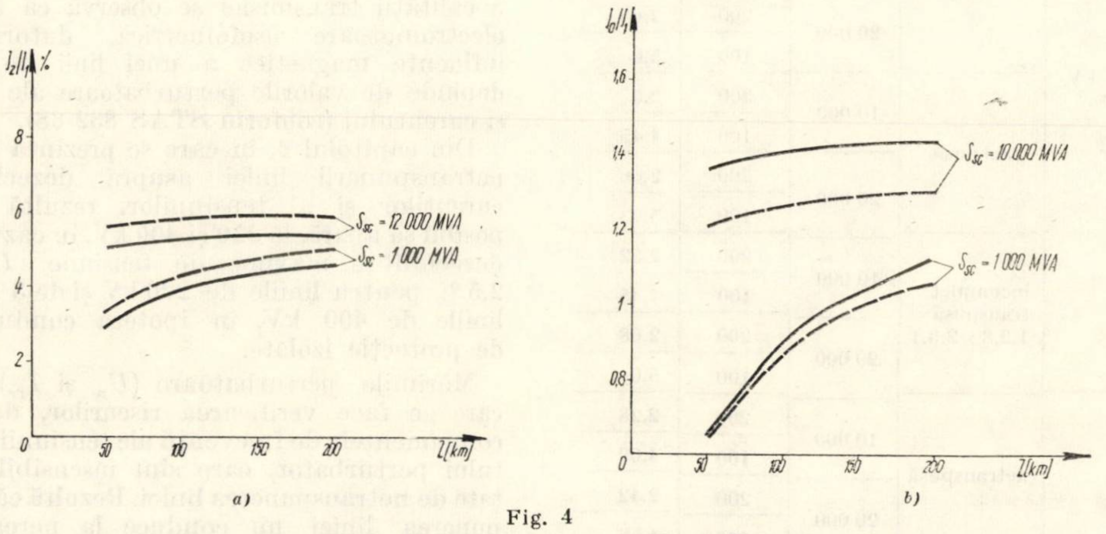



Fig. 4

▬ LEA 220 kV c.p. OL–AL; – – – LEA 220 kV c.p. OL

## 3. Analiza efectului transpunerii liniilor electrice aeriene asupra liniilor de telecomunicaţii

Analiza efectului transpunerii liniilor electrice asupra liniilor de telecomunicaţii se face cu ajutorul metodologiei de calcul pentru

legare la pămînt, fiind dependentă, de asemenea, de curentul de scurtcircuit monofazat.

În tabelul 2 sînt indicaţi curenţii de scurtcircuit monofazat în cazul scurtcircuitelor pe liniile de 400 kV netranspuse, transpuse sau

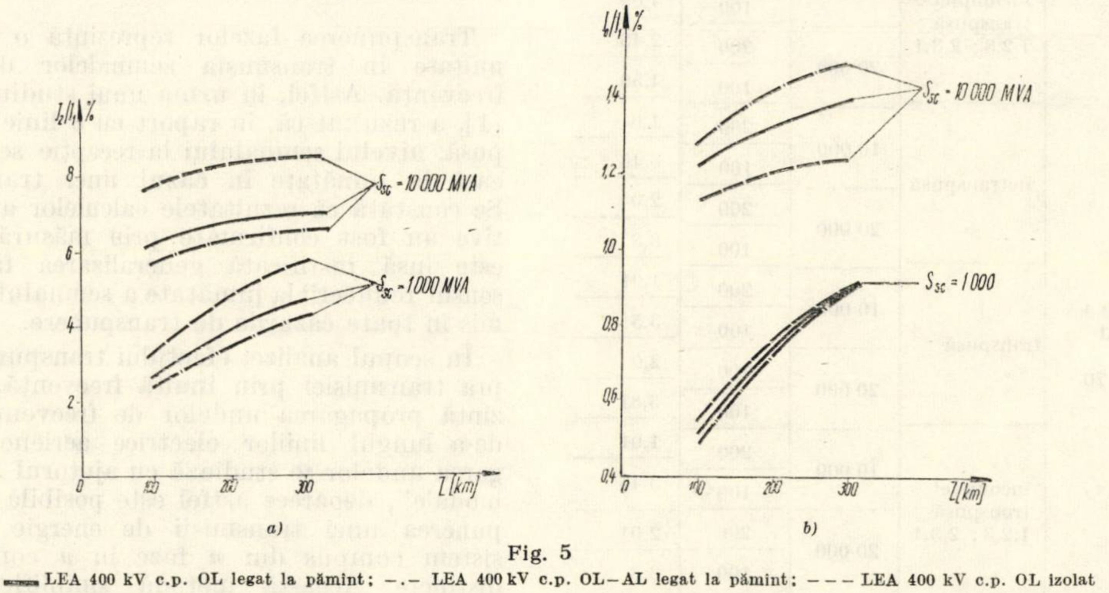



Fig. 5

▬ LEA 400 kV c.p. OL legat la pămînt; –.– LEA 400 kV c.p. OL–AL legat la pămînt; – – – LEA 400 kV c.p. OL izolat

verificarea riscurilor de accidente de persoane şi avarii, precum şi a riscurilor de perturbaţii şi de reduceri a calităţii transmisiei, indicate în STAS 832-68.

Tensiunea indusă longitudinală, datorită curenţilor care circulă prin conductor şi pămînt,

incomplet transpuse. Se consideră variabile atît puterea de scurtcircuit a sistemului cît şi locul de defect. Din analiza rezultatelor reiese că transpunerea sau netranspunerea liniilor nu conduce la variaţii mari ale curenţilor de scurtcircuit. Diferenţa maximă între curenţii de

*Tabelul 2*

| Tipul liniei | Modul de transpunere | $S_{sc}$, MVA | Distanța de la bare la locul de scurtcircuit, km | $I_{sc}$, kA |
|---|---|---|---|---|
| LEA 400 kV c.a.OL-Al 2×450 c.p.OL-Al 150/95 legat la pămînt | netranspusă | 10 000 | 200 | 2,5 |
| | | | 100 | 4,45 |
| | | 20 000 | 200 | 2,66 |
| | | | 100 | 5,0 |
| | transpusă | 10 000 | 200 | 2,5 |
| | | | 100 | 4.45 |
| | | 20 000 | 200 | 2,66 |
| | | | 100 | 5,03 |
| | incomplet transpusă 1,2,3 ; 2,3,1 | 10 000 | 200 | 2,52 |
| | | | 100 | 4,45 |
| | | 20 000 | 200 | 2,68 |
| | | | 100 | 5,0 |
| LEA 400 kV c.a.OL-Al 2×450 c.p.OL-70 legat la pămînt | netranspusă | 10 000 | 200 | 2,28 |
| | | | 100 | 4,09 |
| | | 20 000 | 200 | 2,42 |
| | | | 100 | 4,56 |
| | transpusă | 10 000 | 200 | 2,28 |
| | | | 100 | 4,11 |
| | | 20 000 | 200 | 2,42 |
| | | | 100 | 4,57 |
| | incomplet transpusă 1,2,3 ; 2,3,1 | 10 000 | 200 | 2,29 |
| | | | 100 | 4,09 |
| | | 20 000 | 200 | 2,43 |
| | | | 100 | 4,56 |
| LEA 400 kV c.a.OL-Al 2×450 c.p.OL−70 izolat | netranspusă | 10 000 | 200 | 1,9 |
| | | | 100 | 3,48 |
| | | 20 000 | 200 | 2,0 |
| | | | 100 | 3,8 |
| | transpusă | 10 000 | 200 | 1,91 |
| | | | 100 | 3,5 |
| | | 20 000 | 200 | 2,0 |
| | | | 100 | 3,81 |
| | incomplet transpusă 1,2,3 ; 2,3,1 | 10 000 | 200 | 1,91 |
| | | | 100 | 3,48 |
| | | 20 000 | 200 | 2,01 |
| | | | 100 | 3,8 |

scurtcircuit ai liniilor electrice netranspuse și transpuse fiind de aproximativ 5%, rezultă că transpunerea liniilor de energie nu conduce la tensiuni longitudinale mult diferite de cele ce apar în cazul netranspunerii liniei. Diferența maximă între aceste tensiuni induse longitudinal este de aproximativ 5%. Se remarcă, de asemenea, că tensiunea prin cuplaj rezistiv nu se modifică substanțial în cazul netranspunerii liniei față de cazul transpunerii; diferența maximă între aceste tensiuni prin cuplaj rezistiv este de aproximativ 5%.

În cazul riscurilor de perturbații și de reducere a calității transmisiei se observă că tensiunea electromotoare psofometrică, datorită unei influențe magnetice a unei linii de energie, depinde de valorile perturbatoare ale tensiunii și curentului (conform STAS 832-68).

Din capitolul 2, în care se prezintă influența netranspunerii liniei asupra dezechilibrului curenților și al tensiunilor, rezultă că este posibil să apară, la 220 și 400 kV, în cazul-limită, dezechilibre maxime de tensiune $U_2/U_1$ de 2,5 % pentru liniile de 220 kV și de 3 % pentru liniile de 400 kV, în ipoteza conductoarelor de protecție izolate.

Mărimile perturbatoare ($U_{pe}$ și $I_{pe}$), pentru care se face verificarea riscurilor, depind de componentele de frecvență ale tensiunii și curentului perturbator, care sînt insensibil influențate de netranspunerea liniei. Rezultă că netranspunerea liniei nu conduce la nerespectarea prevederilor STAS 832-68. Se remarcă faptul că, datorită netranspunerii liniilor , componentele echilibrate ale tensiunii se modifică aproximativ cu 2%.

### 4. Analiza efectului transpunerii liniilor electrice aeriene asupra transmisiei prin înaltă frecvență pe liniile electrice aeriene

Transpunerea fazelor reprezintă o discontinuitate în transmisia semnalelor de înaltă frecvență. Astfel, în urma unui studiu teoretic [1], a rezultat că, în raport cu o linie netranspusă, nivelul semnalului la recepție se diminuează la jumătate în cazul unei transpuneri. Se constată că rezultatele calculelor aproximative au fost confirmate prin măsurători. Nu este însă justificată generalizarea făcută în sensul reducerii la jumătate a semnalului transmis în toate cazurile de transpunere.

În scopul analizei efectului transpunerii asupra transmisiei prin înaltă frecvență, se prezintă propagarea undelor de frecvență înaltă de-a lungul liniilor electrice aeriene. Propagarea undelor se studiază cu ajutorul „Analizei modale", deoarece astfel este posibilă descompunerea unei transmisii de energie dintr-un sistem compus din $n$ faze în $n$ componente distincte. Această metodă simplificată este de fapt aplicabilă pentru liniile de transport fără reflexii. Este posibil însă să se extindă această metodă în cazul liniilor cu caracteristici foarte eterogene.

Ținînd seama de matricele de transformare din coordonate de fază în coordonate modale și

invers, rezultă că relațiile caracteristice între tensiune și curent în formă generală sînt conforme tabelului 3, iar repartiția componentelor modale pe faze se face conform indicațiilor din tabelul 4.

*Tabelul 3*

| Faza \ Modul | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | $p$ | 0 | $q$ |
| 3 | 1 | 1 | 1 |

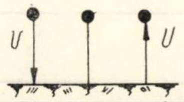
În lucrare se examinează liniile electrice aeriene de 220 și 400 kV avînd dispoziție orizontală a conductoarelor. Proprietățile celor trei moduri de propagare care caracterizează aceste

b) Utilizarea constantelor de amortizare în funcție de aceste componente.

c) Adunarea componentelor amortizate pe partea de recepție pentru a se obține astfel tensiunile sau curenții de fază.

Pentru utilizarea liniilor electrice aeriene la transmisia prin înaltă frecvență se utili-

*Tabelul 5*




| MODUL \ FAZA | 1 | 2 | 3 | $\eta_s^{(n)}$ % |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | U | 0 | -U | 100 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |

*Tabelul 4*

| Faza \ Modul | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| 1 | $\frac{1}{2(q-p)}[q(U_1+U_3)-2U_2]$ | $\frac{p}{2(q-p)}[q(U_1+U_3)-2U_2]$ | $\frac{1}{2(q-p)}[q(U_1+U_3)-2U_2]$ |
| 2 | $\frac{U_1-U_3}{2}$ | 0 | $\frac{-U_1-U_3}{2}$ |
| 3 | $\frac{1}{2(q-p)}[-p(U_1+U_3)+2U_2]$ | $\frac{q}{2(q-p)}[-p(U_1+U_3)+2U_2]$ | $\frac{1}{2(q-p)}[-p(U_1+U_3)+2U_2]$ |

linii rezultă din reprezentarea grafică din figura 6. Amortizarea „Modului 1'' este mai mică în comparație cu amortizarea celorlalte moduri.

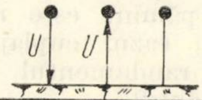
| Faza \ Modul | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| 1 | $I^{(1)}$ → | $I^{(2)}$ → | $I^{(3)}$ → |
| 2 | $\approx 2\ I^{(1)}$ ← | | $\approx I^{(3)}$ → |
| 3 | $I^{(1)}$ → | $I^{(2)}$ ← | $I^{(3)}$ → |

Fig. 6

Se constată, deci, că variantele de transmisie pe linie reprezintă o combinație de două sau trei „Moduri'' (conform figurii 6). Deci aplicarea „analizei modale'' se bazează pe următoarele etape :

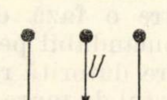
a) Descompunerea în trei componente a tensiunii sau curentului de fază în punctele de emisie.

*Tabelul 6*




| MODUL \ FAZA | 1 | 2 | 3 | $\eta_s^{(n)}$ % |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,487 U | -1,0133 U | 0,487 | 77,9 |
| 2 | 0,5 U | 0 | -0,5 U | 22 |
| 3 | 0,013 U | 0,0133 U | 0,013 U | 0,1 |

*Tabelul 7*

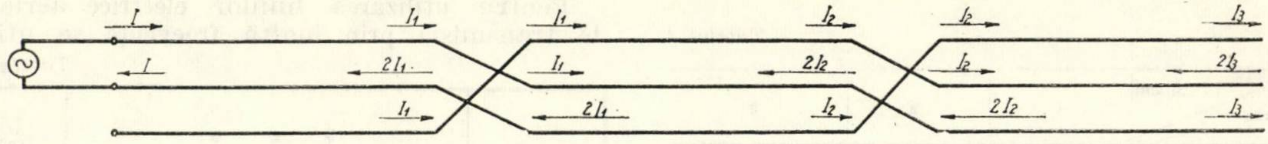



| MODUL \ FAZA | 1 | 2 | 3 | $\eta_s^{(n)}$ % |
|---|---|---|---|---|
| 1 | -0,322 U | 0,67 U | -0,322U | 73 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0,322 U | 0,33 U | 0,322 U | 27 |

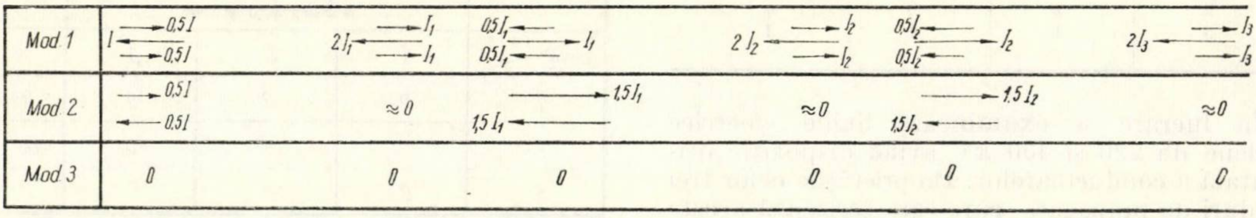
zează diferite sisteme de cuplaj. În tabelele 5, 6 și 7 se indică rezultatele analizei a trei tipuri de cuplaje, stabilite pentru o linie de 220 kV în cazul unei transmisii prin înaltă frecvență (100 kHz). Se constată că randamentul cuplajului în cazul cuplajului între o fază extremă și faza din mijloc, precum și în cazul cuplajului între o fază și pămînt este relativ mare pe „Modul 1". În cazul cuplajului între două faze extreme, randamentul cuplajului este maxim pe „Modul 2".

Pentru transmisia prin înaltă frecvență, cuplajul între o fază exterioară și o fază de mijloc apare cel mai rațional de utilizat, datorită randamentului mai eficient al transmisiei. Cuplajul între două faze extreme conduce la un randament al transmisiei mai puțin eficient, datorită atenuării mai mari a semnalului „Modului 2".

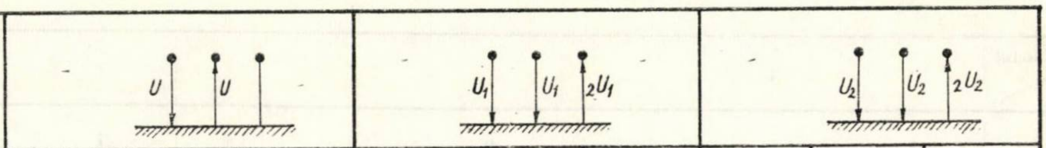
Cuplajul între o fază de mijloc și pămînt este puțin recomandabil pentru o linie electrică de lungime mare, datorită repartiției semnalului în proporție destul de mare pe „Modul 3" (aproximativ 30%). Acest semnal se va amortiza rapid, ceea ce va conduce la scăderea considerabilă a randamentului transmisiei. Deci acest tip de cuplaj nu este recomandabil pentru linii de lungime mai mare de 100 km. În cazul liniilor de lungime mică este recomandabil să se studieze dacă randamentul transmisiei se menține în limitele admisibile în acest caz de cuplaj. Apare astfel necesar să se facă un calcul tehnico-economic, comparîndu-se reducerea investiției, prin renunțarea la o bobină de blocaj, cu creșterea costului generatorului de semnal, pentru a menține randamentul transmisiei în limite admisibile.



a)




b)




| | FAZA 1 | FAZA 2 | FAZA 3 | FAZA 1 | FAZA 2 | FAZA 3 | FAZA 1 | FAZA 2 | FAZA 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mod. 1 | 0,5 U | −U | 0,5U | $-0{,}5U_1$ | $U_1$ | $-0{,}5U_1$ | $-0{,}5U_2$ | $U_2$ | $-0{,}5U_2$ |
| Mod. 2 | 0,5 U | 0 | −0,5U | $1{,}5U_1$ | 0 | $-1{,}5U_1$ | $1{,}5U_2$ | 0 | $-1{,}5U_2$ |
| Mod. 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

c)

Fig. 7

În figura 7 se prezintă metodologia de studiu a influenței transpunerii fazelor în cazul cuplajului între faza mediană și o fază extremă. Această metodologie este prezentată pentru cazurile simplificate în care porțiunile de linie sînt suficient de lungi, astfel încît se poate considera amortizarea completă a „Modului 2" și „Modului 3".

Ținînd seama de relațiile caracteristice între tensiune și curent (tabelul 3) și de repartiția componentelor modale pe faze (tabelul 4), rezultă că semnalul aplicat este repartizat pe „Modurile 1 și 2". Înainte de primul punct de transpunere, datorită amortizării „Modului 2", se regăsește un singur semnal pe „Modul 1". În punctul de transpunere, semnalul „Modului 1" este transformat parțial în semnalul „Modului 2". În urma amortizării semnalului „Modului 2" rezultă la extremitatea tronsonului de linie un semnal unic corespunzător „Modului 1" pur. Aceasta conduce la concluzia că, în urma conversiunii „Modurilor" în tensiune și curent

la locul de transpunere, semnalul ,,Modului 1'' se reduce la jumătate.

Această metodologie simplificată se aplică şi pentru studiul cazurilor în care nu se produce amortizarea completă a ,,Modurilor''. În acest caz, în punctul de transpunere, valoarea semnalelor pe moduri înainte de transpunere se determină cu relaţia

$$I_1^{(n)} = I^{(n)}\, e^{-\alpha_n \cdot l},$$

în care

$I_1^{(n)}$ este valoarea semnalului pe ,,Modul $n$'' în urma propagării pe lungimea $l$ ($n = 1, 2, 3$);

$I^{(n)}$ — valoarea semnalului iniţial pe ,,Modul $n$'';

$\alpha_n$ — atenuarea pe ,,Modul $n$''.

Cunoscînd în punctul de transpunere, înainte de realizarea transpunerii, mărimea semnalelor repartizate pe cele trei ,,Moduri'', se determină mărimea semnalului pe cele trei faze. Avînd în vedere mărimea semnalului pe cele trei faze, se restudiază problema cuplajului, urmînd ca apoi să se facă propagarea, pe porţiunea de linie ce urmează, a semnalelor repartizate pe ,,Moduri''.

Din analiza figurii 7 rezultă că transpunerea reprezintă un punct de discontinuitate în transmiterea semnalelor de înaltă frecvenţă.

În cazul cel mai dezavantajos, transpunerea contribuie la reducerea semnalului la jumătate.

## Concluzii

Din analiza influenţei transpunerii asupra regimurilor simetrice staţionare, asupra liniilor de telecomunicaţii şi asupra transmisiei prin înaltă frecvenţă pe liniile electrice aeriene, rezultă următoarea ordine prioritară a criteriilor de stabilire a necesităţii transpunerii :

a) Stabilirea influenţei transpunerii asupra randamentului transmisiei prin înaltă frecvenţă.

b) Verificarea menţinerii dezechilibrului $I_2/I_1$ la generatoare şi consumatori în limite admisibile.

c) Verificarea influenţei liniilor electrice aeriene asupra liniilor de telecomunicaţii.

Avînd în vedere valoarea dezechilibrului curenţilor de secvenţă inversă şi randamentul transmisiei prin înaltă frecvenţă, rezultă că pentru liniile electrice aeriene de 220 şi 400 kV este necesar :

— să nu se prevadă transpuneri pentru lungimi de linie care nu depăşesc 150 km şi, respectiv, 200 km;

— să se prevadă un ciclu complet de transpunere pentru lungimi de linie între 200 şi 250 km;

— să se prevadă două cicluri complete de transpunere pentru lungimi de linie mai mari de 250 km.

Renunţarea la transpunere din considerente economice nu este întemeiată atît timp cît pe liniile electrice de înaltă tensiune sînt introduşi, din considerente constructive, stîlpi speciali care fac ca investiţia suplimentară necesară transpunerii să fie mai redusă (de 3 ÷ 5 ori)

**Bibliografie**


[1] * * * *Les installations de télécommunication à ondes porteuses Brown Boveri dans les réseaux à courant alternatif à très haute tension et sur les lignes de transport à courant continu.* Revue Brown Boveri, nr. 4/5, 1966.

[2] Irlahman, M. I. şi Kutisin, V. G. *O vozmojnosti uveliceniia dlinî netrasponirovannîh vozduşnîh linii elektroperedaci.* Elektricestvo, nr. 6, 1970.

[3] Pericart, J. *Etudes des lignes polyphasées dyssymétriques à l'aide du calcul matriciel.* R.G.E., februarie 1959.



**(Articol intrat în redacţie la 25 septembrie 1971)**



Revista ,,ENERGETICA'' — organ al Ministerului Energiei Electrice şi al Consiliului Naţional al Inginerilor şi tehnicienilor din R.S. România (CNIT). Redacţia: Bucureşti, str. Galaţi nr. 5 — 7, Sectorul II; Tel. 136683; 130053. Instituţiile pot achita abonamentele pentru biblioteci şi cabinete tehnice în contul nostru de virament: nr. 30.01.01.00 B.N.R.S.R.—Sectorul VI. Tarif pentru întreprinderi lei 100 anual. Tarif pentru muncitori, tehnicieni şi ingineri lei 30 anual. Preţul unui exemplar lei 5.

Taxele poştale plătite în numerar conform aprobării D.G.P.T. nr. 10.1095, 1967

I.P.I. — c. 3089

41 401

# CRONICĂ

**Reuniunea Comitetului de studii CIGRE nr. 34 din Danemarca 31 mai—7 iunie 1971**

În perioada 31 mai—7 iunie 1971 a avut loc la Aarhus (Danemarca) reuniunea Comitetului de studii CIGRE nr. 34—,,Protecţie, automatizări şi dispozitive de telecomandă'', în cadrul căreia a fost organizat şi un colocviu cu participarea membrilor comitetului şi a altor specialişti în acest domeniu.

Problemele discutate la colocviu, conform ordinii de zi stabilite în prealabil, au fost următoarele:

1. Procedee şi dispozitive de acţionare automată rapidă în situaţiile de pericol şi coordonarea lor cu dispozitivele de protecţie împotriva defectelor. (Raportor: G. Dienne — — Belgia).
2. Principii de protecţie şi automatizare a marilor turboalternatoare. (Raportor: I. Trojak — Polonia).
3. Localizarea defectelor pe liniile aeriene. (Raportori: G. Pratesi — Italia şi H. Stimmer — Austria).

Dintre problemele mai importante şi interesante rezultate din rapoartele prezentate şi din discuţiile purtate asupra acestora sînt de menţionat următoarele:

*Raportul nr. 1*

1. Se constată că în ultimii 10—15 ani au avut loc în majoritatea sistemelor energetice — inclusiv cele dezvoltate — incidente grele generalizate sau situaţii critice. Astfel, în R.F.G. au avut loc 21 asemenea incidente, dintre care unul a condus la o cădere generală a sistemului, în Canada (într-o zonă deservită de trei companii) au avut loc 24 incidente grele cu consecinţe pentru întreaga reţea şi 23 situaţii periculoase, în Franţa, în 15 ani, s-au produs 15 incidente grave, iar în Norvegia, în zece ani, s-au înregistrat 22 incidente cu consecinţe grave asupra întregului sistem şi 46 incidente în care securitatea ansamblului sistemului a fost compromisă.

2. Printre cauzele mai frecvente şi importante ale situaţiilor critice apărute în sistemele energetice se pot cita următoarele: declanşări intempestive de linii la suprasarcină, prezenţa mai multor defecte simultane sau succesive, refuzuri sau funcţionări intempestive ale unor protecţii, durate mari de eliminare a defectelor, natura complexă a defectului, care determină dificultăţi deosebite în funcţionarea corectă a protecţiilor.

3. Criteriile cele mai frecvente folosite pentru sesizarea incidentelor grave de sistem sînt: scăderea frecvenţei, scăderea tensiunii sau oscilaţii ale acesteia, suprasarcină termică a unor elemente importante ale reţelei, variaţii ale unghiurilor electrice ale alternatoarelor, oscilaţii ale puterilor active şi reactive.

4. Dispozitivele de automatizare folosite în diverse ţări pentru evitarea sau limitarea incidentelor generale de sistem sînt asemănătoare, ca principii şi mod de acţionare, cu cele folosite în sistemul nostru energetic. Printre măsurile mai frecvent folosite pot fi citate următoarele: descărcărarea automată a sarcinii la scăderea frecvenţei, reanclanşarea automată (rapidă şi semilentă) a liniilor şi resincronizarea rapidă a alternatoarelor, debuclarea sistemelor de bare la defecte pe acestea şi debuclarea reţelei generale la fenomene de instabilitate. Din discuţii au rezultat, de asemenea, şi măsurile care se întrevăd pentru mărirea eficienţei automatizărilor de prevenire a incidentelor generalizate. Dintre acestea pot fi citate: mărirea vitezei de acţionare şi a selectivităţii protecţiilor de rezervă, decuplarea rapidă a barelor în staţiile de interconexiune importante, utilizarea unui plan naţional de insulare, în funcţie de frecvenţă, cu crearea unor insule echilibrate şi de debuclare a reţelei în caz de rupere de sincronism, dublarea parţială sau totală a sistemelor de protecţie principală (în special în instalaţiile de tensiuni egale sau mai mari de 400 kV). Trebuie subliniat că această măsură a stîrnit vii discuţii, neexistînd încă o concluzie unanimă asupra oportunităţii ei.

5. O atenţie deosebită s-a acordat centralizării acţiunilor automate la nivelul staţiilor, regiunilor sau întregului sistem. În prezent soluţia unanim acceptată este aceea a centralizării acţiunilor automate la nivelul staţiei cu ajutorul criteriilor locale; centralizarea la un nivel superior (de exemplu regional) necesită mijloace de transmisie a informaţiilor foarte numeroase şi de o foarte înaltă fiabilitate, şi din aceste motive (de ordin economic şi de siguranţă) în prezent se procedează cu foarte multă prudenţă în adoptarea unor astfel de soluţii. Se consideră totuşi că este necesară centralizarea unor acţiuni (folosindu-se transmisia unor criterii locale) şi că tratarea pe un calculator a informaţiilor primite determină o mărire evidentă a rapidităţii şi a corectitudinii intervenţiilor primite.

Pornindu-se de la aceste considerente, sînt în curs de efectuare, în diferite ţări, studii pentru determinarea volumului informaţional necesar între staţii şi dispecer şi organizarea sistemului de dialog astfel încît să se reducă la minimum traficul mesajelor, printr-o pretratare locală a informaţiilor.

Din discuţii a rezultat că utilizarea calculatoarelor în apropierea instalaţiilor de înaltă şi foarte înaltă tensiune (deci pe teritoriile staţiilor) pune probleme dificile, care nu sînt încă rezolvate. Cu toate precauţiile speciale luate pentru blindarea firelor de legătură şi a circuitelor proprii, s-au citat experienţe negative rezultate în folosirea calculatoarelor în asemenea condiţii. Astfel, în sistemul energetic al Australiei, unde s-au instalat calculatoare într-o serie de staţii de 132 kV (cu luarea tuturor măsurilor de blindare), după un an de experimentare funcţionarea a fost corespunzătoare în unele staţii şi necorespunzătoare în altele, fără a se găsi însă explicaţii valabile.

Un calculator instalat într-o centrală electrică de 2 400 MW din sistemul energetic al Canadei nu a putut da nici o informare corectă cu ocazia unui incident, iar cei care îl exploatează consideră că nu se vor putea găsi remedierile necesare într-un termen mai scurt de cîţiva ani.

Pornind de la astfel de constatări, opinia generală actuală este că utilizarea calculatoarelor trebuie să aibă loc în afara staţiilor de înaltă tensiune şi a centralelor, pînă cînd vor fi rezolvate problemele legate de perturbările care apar. Se consideră că experienţa australiană pare să evidenţieze că precauţiile luate cu succes pentru releele de protecţie tranzistorizate nu sînt suficiente pentru calculatoarele de conducere automată. Discuţiile purtate pe această temă au evidenţiat din nou faptul că nu s-a studiat încă suficient, în comun, de către specialiştii în construcţii de calculatoare şi specialiştii în exploatarea instalaţiilor energetice, problemele legate de utilizarea calculatoarelor pentru conducerea automată în incinta instalaţiilor energetice.

*Raportul nr. 2*

Atît raportul cît şi discuţiile s-au refarit în special la protecţiile blocurilor generatoare, care formează unităţi independente de puteri foarte mari — 350 MW şi mai mari.

1. Se consideră că la alternatoarele moderne de mare putere scurtcircuitele interne constituie defecte rare.

2. În legătură cu pericolul pe care îl prezintă, pentru alternatoare, punerile la pămînt statorice şi cu protecţiile care trebuie prevăzute pentru astfel de defecte, părerile au fostcontradictorii. Astfel, în unele ţări (Anglia, Franţa) se consideră că, limitîndu-se curentul de punere la pămînt statorică la 10—20 A, acesta nu este periculos pentru generator (craterele în fier

nefiind provocate totdeauna de curenţii de punere la pămînt) şi deci o protecţie care acoperă 80—95% din înfăşurare şi acţionează cu o temporizare de cîteva secunde este suficientă. În alte ţări se consideră, însă, că se pot produce cratere în fier şi suduri ale tolelor chiar la curenţi mici de punere la pămînt şi, prin urmare, este neapărat necesară o protecţie care să acopere întreaga înfăşurare statorică; aceasta este soluţia adoptată în majoritatea sistemelor energetice.

3. În general se consideră că protecţia marilor alternatoare nu diferă sensibil de cea a grupurilor de putere mai mică, iar printre protecţiile prezentînd anumite particularităţi trebuie citate următoarele:

— Protecţia de curent de secvenţă inversă. Marile alternatoare răcite cu hidrogen sînt, în mod special, puţin rezistente la solicitările provocate de curenţii de secvenţă inversă şi din acest motiv protecţiei respective i se acordă o mare atenţie. Protecţiile folosite sînt de tipul cu caracteristică de timp dependentă de curent ($I_2^2\,t$ = const.) sau în două-trei trepte care caută să realizeze o carateristică apropiată de cea a primului tip.

— Protecţia de întoarcere de putere este prevăzută pentru a reacţiona la defecţiunile produse la turbină, acţionarea ei fiind de regulă condiţionată de acţionarea ventilului de siguranţă al turbinei.

—Protecţia împotriva suprasarcinii (care provoacă doar semnalizarea) şi protecţia de temperatură a înfăşurărilor statorice şi rotorice par a fi considerate ca cele mai importante din sistemul de protecţie a alternatoarelor.

— Protecţia împotriva creşterii tensiunii provoacă doar o micşorare a excitaţiei generatorului.

4. S-a desprins o părere unanimă conform căreia costurile protecţiilor celor mai adecvate şi perfecţionate sînt neînsemnate în raport cu cheltuielile de construcţie şi exploatare a grupurilor mari şi cu pagubele directe şi indirecte provocate de releele de protecţie de calitate mai slabă.

Pentru grupurile foarte mari (cu puteri de ordinul 1000 MVA), unele ţări — Elveţia, Anglia, Franţa ş. a. — au adoptat dublarea sau chiar multiplicarea (pînă la 4) a circuitelor de protecţie, pentru a se realiza astfel circuite echivalente şi independente şi deci o siguranţă mărită a protecţiei.

5. Verificările protecţiilor generatoarelor se fac în diferite moduri în diferitele ţări (periodicitatea variind de la trei la şase luni), dar s-a desprins o părere aproape unanimă, conform căreia o verificare bună (cu curent primar şi secundar) la recepţia instalaţiilor permite ca verificările periodice să se efectueze doar cu curent secundar, dacă nu se constată perturbări în funcţionare.

6. O particularitate importantă a generatoarelor de putere foarte mare (cu consecinţe asupra protecţiilor acestora) constă în durata mare a componentei continue a curentului de scurtcircuit, care ajunge să fie de 5—7 ori cît cea a generatoarelor de 125 MW. Funcţionarea corectă a transformatoarelor de curent în aceste condiţii devine foarte dificilă şi se observă o tendinţă generală de folosire a unor transformatoare de curent liniarizate (cu fante în circuitul magnetic).

Se constată o tendinţă generală de creştere a procentului acţionărilor neelectrice (în special prin turbine cu abur) în cadrul serviciilor auxiliare ale marilor grupuri; în felul acesta, energia electrică nu mai determină în întregime continuitatea de funcţionare a grupurilor. Totuşi se poate spune că în această problemă nu există încă un consens unanim.

O soluţie interesantă este cea adoptată în Anglia şi Franţa, constînd în folosirea unei turbine cu gaze care antrenează alternatorul ca sursă de pornire a blocului şi pentru alimentarea de rezervă (de siguranţă) a serviciilor interne ale cazanului în cazul unei scăderi de frecvenţă în reţea pînă la valori periculoase pentru funcţionarea motoarelor; la scăderea frecvenţei pînă la 49,7 Hz, turbina cu gaze este pornită automat şi încărcată, iar la atingerea frecvenţei de 48,8 Hz întreruptorul principal al grupului este deconectat.

7. În legătură cu folosirea calculatoarelor pentru conducerea exploatării grupurilor mari, se poate cita experienţa din Elveţia, Anglia şi Franţa, unde acestea sînt folosite pentru tratarea informaţiilor; rezultă că funcţionarea calculatoarelor respective este sigură şi satisfăcătoare, dar realizarea unui sistem de studiu a tuturor combinaţiilor de defecte posibile necesită un timp de lucru atît de mare (mulţi ani), încît o astfel de automatizare nu este rentabilă în prezent.

*Raportul nr. 3.*

1. În majoritatea sistemelor energetice, liniile declanşate prin protecţie (chiar în cazul unei reanclanşări automate nereuşite) sînt reconectate imediat de către personal cel puţin o dată, considerîndu-se că marea majoritate a defectelor sînt pasagere. (Este interesant de observat că în unele ţări — Austria, Belgia, Elveţia — de regulă nici o linie nu este repusă în funcţiune după declanşare decît în urma unui control al întregului traseu şi că în alte sisteme, pe timp de ceaţă sau furtună, precum şi în zonele poluate salin din apropierea mării, se fac chiar mai multe încercări de recuplare a liniilor).

2. În toate sistemele energetice (cu excepţia celui al Australiei), chiar la liniile dotate cu locatoare de defecte, controlul după declanşare se face pe întregul traseu al liniilor, şi nu numai în porţiunile indicate de locatoare; această practică se justifică prin fiabilitatea scăzută a locatoarelor actuale, precum şi prin teama de existenţa unor defecte multiple pe linie.

3. În prezent, utilizarea locatoarelor de defecte pe linie este relativ restrînsă, datorită preciziei lor reduse şi costului ridicat. Folosirea lor este mai răspîndită în special în ţările cu linii lungi de transport şi mai puţin în ţările cu linii scurte, care traversează de obicei zone de cîmpie. Totuşi, majoritatea sistemelor energetice consideră că este oportun să se mărească numărul locatoarelor. Din analizele efectuate în diverse sisteme energetice (unde totuşi nu se dispune de statistici ale funcţionărilor) rezultă că dispozitivele actuale permit să se localizeze cu o precizie satisfăcătoare doar defectele permanente, în special cele monofazate.

4. Dintre diferitele tipuri de locatoare de defecte cunoscute în prezent, cel mai folosit este cel bazat pe principiul reflectării impulsurilor, datorită preciziei sale, preţului relativ redus şi faptului că este unul dintre primele realizate la scară industrială.

Toate ţările (cu excepţia Angliei) folosesc locatoarele de acest tip la linii în prealabil scoase de sub tensiune, doar pentru localizarea defectelor permanente.

Exploatarea acestor locatoare a scos la iveală erori de funcţionare şi la liniile cu dublu circuit. Printre cauzele erorilor în funcţionarea locatoarelor bazate pe reflectarea impulsurilor se citează, de asemenea, următoarele: frecvenţe străine pe liniile de energie, prezenţa chiciurii pe conductoare, atenuarea semnalului datorită diferitelor cuplaje, perturbări provocate prin inducţie de către sistemele de bare aflate sub tensiune etc.

Într-un număr redus de ţări se folosesc ampermetre cu inerţie mică şi cu blocare automată a acului indicator (monofazate pe conductorul neutru al transformatoarelor de curent); citirea ampermetrelor este urmată de un calcul efectuat de personalul staţiilor, pe baza căruia se poate localiza defectul. Precizia aparatelor de acest tip (realizate şi în sistemul nostru energetic) este considerată acceptabilă în cazul defectelor monofazate nete.

5. S-au realizat în utimul timp două noi tipuri de locatoare care utilizează componentele tranzitorii ale mărimilor de defect.

Participarea la reuniunea de la Aarhus a fost largă, fiind prezenţi 62 de delegaţi din 22 de ţări. La lucrările reuniunii au participat, din partea ţării noastre, prof. dr. ing. C. Penescu, membru corespondent al Academiei R.S.R., şi ing. I. Chenzbraun. Delegaţia română a luat parte activ la discuţiile purtate în cadrul colocviului, prezentînd experienţa sistemului nostru energetic în domeniile respective.

În cadrul şedinţelor comitetului s-au discutat probleme referitoare la activitatea viitoare, în special subiectele care urmează a se dezbate la viitoarea sesiune din 1973, de la Praga.

Prof. dr. ing. **C. Penescu**
Ing. **I. Chenzbraun**

# Recenzii

R. PELISSIER. **Les réseaux d'énergie électrique.** Dunod, Paris, 1971. Vol. 1 : 264 p., 76 fig., vol. 2 : 322 p., 73 fig.

În editura Dunod au apărut de curînd primele două volume ale lucrării lui René Pélissier — cunoscut profesor la Școala superioară de electricitate din Paris și consilier special al Direcției Studii și cercetări din EdF — privind rețelele de energie electrică.

Lucrarea completă cuprinde următoarele patru volume :

— vol. 1 : *Aspecte tehnice ale serviciului*

— vol. 2 : *Calculul și reglajul rețelelor*

— vol. 3 : *Arhitectura rețelelor și dezvoltarea lor*

— vol. 4 : *Regimuri tranzitorii*

Lucrarea tratează, într-un echilibru bazat pe bogata experiență a autorului, atît problemele științifice și tehnice pe care le pun rețelele de energie cît și problemele economice.

Deosebit de interesant apare punctul de vedere din care sînt tratate toate problemele privind rețelele de energie, și anume cu luarea în considerare atît a condițiilor tehnice și intereselor economice ale producătorului și distribuitorului de energie, cît și a celor ale consumatorului. De altfel, acest punct de vedere rezultă din însăși definiția pe care autorul o dă rețelelor electrice, și anume ele constituind ansamblul instalațiilor care stabilesc calea materială pentru circulația energiei electrice de la bornele generatoarelor și pînă la bornele receptoarelor diferiților consumatori.

În volumul 1, intitulat „Aspecte tehnice ale serviciului", după ce se reamintesc, în introducere, diferitele aspecte ale energiei electrice, privită din punct de vedere științific, tehnic și economic, se prezintă concepția generală a lucrării, care — după părerea autorului — acoperă necesitățile de informare și documentare ale tuturor specialiștilor, fie că lucrează în domeniul utilizării energiei electrice, în cel al exploatării rețelelor electrice sau în cel al dezvoltării acestora. De asemenea, lucrarea este utilă și specialiștilor care activează în domeniul studiilor și cercetărilor, atît prin tratarea la un nivel științific superior a diferitelor fenomene complexe care apar în funcționarea rețelelor electrice, cît și prin prezentarea diferitelor metode de calcul capabile să interpreteze și să exprime cantitativ aceste fenomene.

Capitolul 1 al volumului 1 tratează partea generală a rețelelor electrice, sub aspectul structurii, evoluției și dezvoltării rețelelor. În finalul acestui capitol se analizează tensiunile utilizate și standardizate pe plan mondial.

Capitolul 2 tratează rețelele electrice privite ca un serviciu public, necesar a fi organizat în vederea deservirii în cele mai bune condiții a tuturor consumatorilor. Se dau diferitele formule de organizare a acestui serviciu în principalele țări ale lumii, insistîndu-se în special asupra organizării sale în Franța (EdF).

Capitolul 3 tratează problemele tehnice și economice care limitează acest serviciu, analizînd posibilitățile rețelei din punctul de vedere al puterii de scurtcircuit și al consumului de energie reactivă. Se analizează, de asemenea, soluțiile care pot conduce la diminuarea acestor efecte negative.

Capitolul 4 este consacrat frecvenței rețelelor electrice, importanței pe care o prezintă ca element al calității serviciului, al variațiilor frecvenței și cauzelor acestora, ca și modului de reglare.

Capitolul 5 tratează continuitatea serviciului, în care, după ce se examinează limitele continuității, ale cauzelor și duratelor, precum și evaluarea economică a întreruperilor — în mai multe ipoteze — se analizează soluțiile pentru îmbunătățirea continuității serviciului și măsurile care trebuie luate în această problemă și de către consumatori.

În finalul capitolului 5 se studiază cunoscuta avarie excepțională care a avut loc în ziua de 9 noiembrie 1965 în sistemul electroenergetic de nord-est al S.U.A., din care este alimentat orașul New York.

Capitolul 6 se ocupă de problemele tensiunii rețelelor electrice. După analizarea diferitelor aspecte ale variațiilor de tensiune și după ce se stabilesc limitele de variație pentru tensiunea optimă, se tratează problema reglajului tensiunii pentru cazul variațiilor lente. În finalul capitolului se tratează fenomenul „flicker", ca și posibilitățile de reducere a acestui fenomen neplăcut.

Capitolul 7, ultimul din volumul 1, este consacrat prejudiciilor imputabile energiei electrice. Sînt considerate ca atare : coroziunea electrolitică, riscurile de incendiu, pericolul de electrocutare, zgomotele generate de unele aparate electrice, vibrațiile transformatoarelor, ocuparea de suprafețe importante de teren pentru instalații, perturbațiile radiofonice.

Volumul 2, intitulat „Calculul și reglajul rețelelor" definește, în capitolul 1, obiectul calculelor rețelelor și arată evoluția metodelor de calcul, după care prezintă structura rețelelor și a schemelor echivalente, reamintind elementele teoretice de bază care permit aplicarea metodelor calculului matricial în rezolvarea acestor probleme.

Capitolul 2 și capitolul 3 prezintă calculul funcționării rețelelor în regim normal și în regim de avarie, tratînd pe larg problema calculului curenților de scurtcircuit, a stabilității și a rezonanțelor locale.

Capitolul 4 tratează problemele funcționării automatizate a rețelelor electrice, ținînd seamă de cele două tipuri distincte de funcțiuni care intervin în această funcționare :

a) automatizarea de protecție : protecția liniilor electrice de toate categoriile și tensiunile, a stațiilor și posturilor, a barelor, împotriva supraintensităților și supratensiunilor etc. ;

b) automatizarea de exploatare : telecomenzile, telemăsura, telesemnalizările, teleinformatica.

Ultimul capitol al volumului 2, capitolul 5, tratează reglajul și controlul centralizat al rețelei, respectiv conducerea operativă prin dispecer a sistemului electroenergetic.

Sînt tratate problemele pe care le ridică reglajul primar (de grup), cel secundar (de centrală) și cel terțiar (economic, de ansamblu, pe sistem), exemplificîndu-se cu funcționarea sistemului electroenergetic francez (EdF). Tot în acest capitol se tratează interesanta problemă a gestiunii echipamentelor pe durate medii și lungi de timp, care prezintă o deosebită importanță și care, de obicei, este trecută pe un plan secundar.

În finalul capitolului se tratează sarcinile și mijloacele de care trebuie să dispună o conducere prin dispecer modernă pentru a putea face față tuturor problemelor cu caracter tehnic și economic pe care le ridică funcționarea sigură și economică a unui sistem electroenergetic de anvergură.

După cum am precizat de la început și după cum s-a putut vedea și din succinta prezentare a conținutului primelor două volume apărute, problemele sînt tratate la un înalt nivel științific și la un grad ridicat de generalitate, neținîndu-se seamă de clasa instalațiilor, ci numai de caracteristicile tehnice constructive și funcționale ale acestora.

Din examinarea celor două volume apărute se poate afirma că autorul și-a onorat promisiunea inițială și că, cu apariția și a ultimelor două volume — pe care o așteptăm cu legitim interes — lucrarea reprezintă, într-adevăr, o tratare complexă a problemelor din domeniul rețelelor electrice, fiind necesară atît inginerilor care lucrează în toate domeniile de activitate ale rețelelor (cercetare-dezvoltare, proiectare, execuție, exploatare), cît și studenților din facultățile de specialitate ale institutelor de învățămînt superior.

Lucrarea este elogios prefațată de François Cahen, profesor onorar la Școala superioară de electricitate din Paris și director onorar al Departamentului Studii și cercetare al EdF.

**c.m.**



ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁR ÉS DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT 1893

# I.S.P.E.

INSTITUTUL DE STUDII ŞI PROIECTĂRI ENERGETICE, organul de specialitate al Ministerului Energiei Electrice, execută studii şi proiecte necesare realizării planurilor de electrificare, extinderii şi modernizării instalaţiilor energetice existente, funcţionării în condiţii economice şi de siguranţă a sistemelor electro-energetice.

**elaborează** proiecte tehnice şi de execuţie pentru centrale termoelectrice şi de termoficare, staţii şi posturi de transformare, linii electrice de transport şi de distribuţie ;

**acordă** asistenţă tehnică pentru realizarea proiectelor la parametrii proiectaţi ;

**execută** studii de electrificare bazate pe date de teren: topografice, geologice, geotehnice şi studii tehnico-economice pentru fundamentarea investiţiilor energetice de orice gen ;

**întocmeşte** planuri de electrificare curentă şi de perspectivă pentru ţări, regiuni sau oraşe

**proiectează** instalaţii şi reţele de termoficare pentru utilizări urbane şi industriale ;

**elaborează** studii privind stabilirea regimurilor şi siguranţei de funcţionare a sistemelor energetice ;

**alcătuieşte** studii metodologice şi algoritme de calcul, precum şi efectuarea prin instalaţiile sale moderne a calculelor necesitate de rezolvarea diferitelor probleme de studii şi proiectare din domeniul sistemelor energetice sau a elementelor acestor sisteme ;

**colaborează** cu firme şi organizaţii străine pentru lucrări de specialitate şi acordă la cerere orice alte servicii de engineering în domeniul energetic ;

**elaborează** caiete de sarcină şi cereri de ofertă în numele beneficiarului.

* * *

**Institutul de Studii şi Proiectări Energetice**

Bd. Lacul Tei nr. 1
telefon:12.19.70; 12.71.41
telex - 011.177

# I E C PLOIEȘTI

● PRIN CENTRALELE SALE ELECTRICE, IEC PLOIEȘTI FURNIZEAZĂ ENERGIE ELECTRICĂ SISTEMULUI ENERGETIC NAȚIONAL.

● PRIN CENTRALA ELECTRICĂ DE TERMOFICARE BRAZI SE LIVREAZĂ CĂLDURĂ CONSUMATORILOR DE PE PLATFORMA INDUSTRIALĂ BRAZI, SERELOR ȘI ANSAMBLELOR DE LOCUINȚE DIN MUNICIPIUL PLOIEȘTI

● CENTRALA TERMOELECTRICĂ DOICEȘTI LIVREAZĂ ȘI CENUȘĂ PENTRU FABRICAREA BETONULUI CELULAR AUTOCLAVIZAT ȘI A CIMENTURILOR SPECIALE.

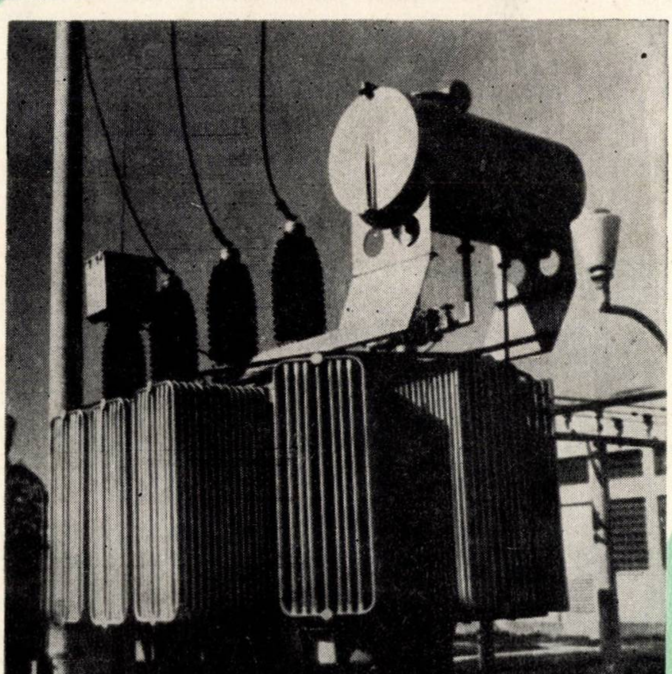
**ÎNTREPRINDEREA ELECTROCENTRALE PLOIEȘTI**

# IRE CLUJ

asigură alimentarea cu energie electrică din sistemul național a tuturor consumatorilor urbani și rurali din zonă, în condiții de siguranță și de calitate

proiectează linii electrice aeriene și subterane de înaltă, medie și joasă tensiune, stații și posturi de transformare, electrificări rurale, automatizări și modernizări în instalații

execută linii, stații și posturi de transformare, electrificări rurale, instalații electrice interioare în mediul urban și rural

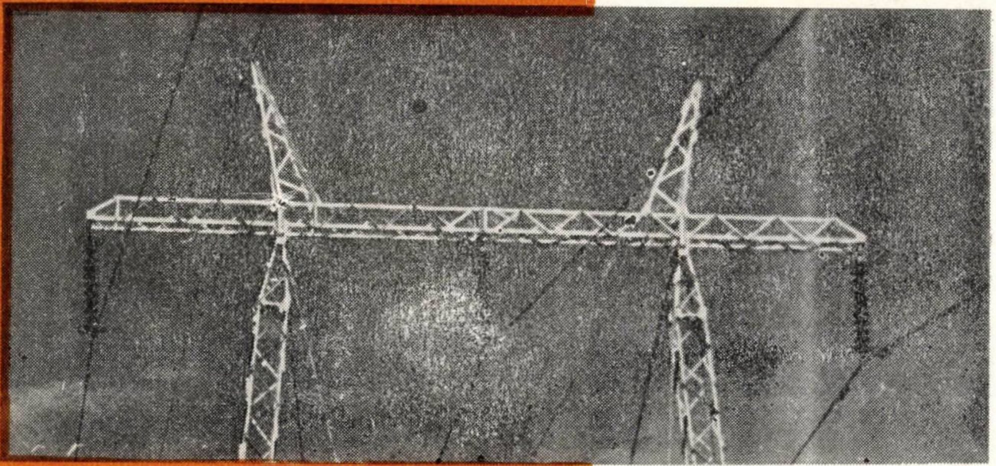


I.R.E. Cluj

ÎNTREPRINDEREA DE REȚELE ELECTRICE

Cluj, str. 30 Decembrie nr. 27, tel.: 239.90

# IRE CRAIOVA



Transportă şi distribuie

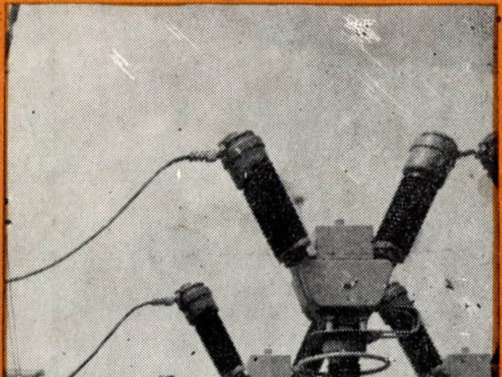
energie electrică, în reţele electrice de joasă, medie, înaltă şi foarte înaltă tensiune, asigurînd buna deservire a consumatorilor de energie electrică din sectorul industrial, agricol, feroviar şi casnic din regiune.

Execută

. linii electrice de 6,15 şi 35 kV
. linii electrice de joasă tensiune pentru electrificări urbane şi rurale
. posturi şi staţii de transformare
. instalaţii electrice interioare şi branşamente
. reparaţii şi verificări de transformatoare de forţă
. reparaţii şi verificări de aparate electrice de măsură şi control, prin laboratoarele proprii PRAM

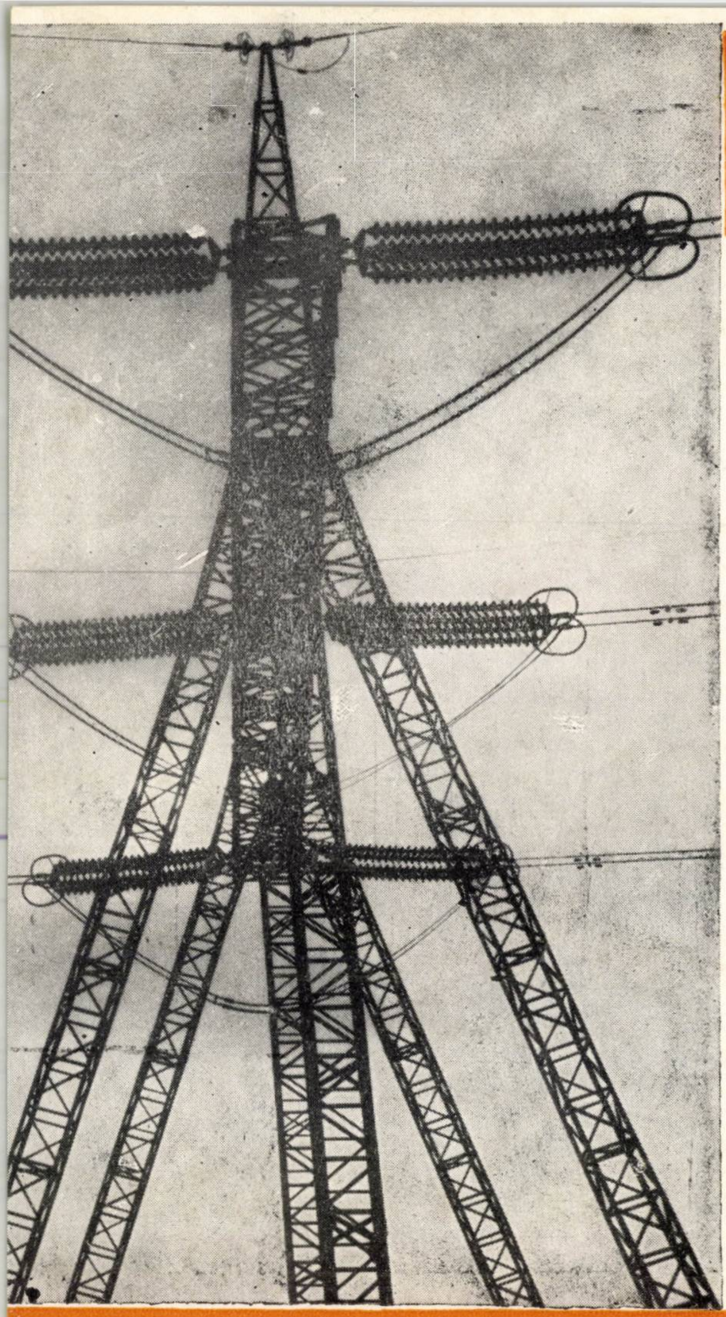
Intocmeşte

studii tehnico-economice pentru lucrări noi şi îmbunătăţirea instalaţiilor existente
proiecte de execuţie pentru linii aeriene şi subterane, posturi şi staţii de transformare, instalaţii de iluminat exterior



ÎNTREPRINDEREA DE REŢELE ELECTRICE CRAIOVA

Str. Brestei nr. 5



INTREPRINDEREA

ELECTROMONTAJ

# CLUJ

*Execută*:

- linii electrice de transport pentru tensiuni pînă la 400 kV
- linii electrice de distribuție
- rețele electrice în cablu subteran pînă la 35 kV
- stații de transformare de 35—400 kV
- stații de distribuție și posturi de transformare
- rețele de iluminat public
- electrificări rurale

INTREPRINDEREA ELECTROMONTAJ
CLUJ Str. 30 Decembrie nr. 27

# IEC CRAIOVA

Produce şi furnizează prin instalaţiile sale, în condiţii de siguranţă şi calitate :

- energie electrică, sistemului electroenergetic naţional şi consumatorilor de energie electrică din regiune;
- căldură, consumatorilor industriali din zonă.

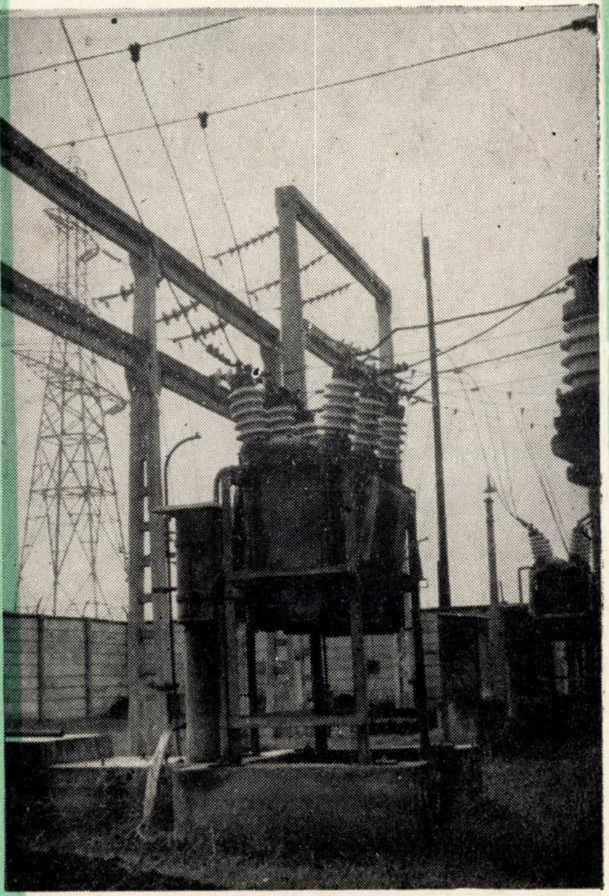
Centrala Electrică de Termoficare-Craiova, dispune de grupuri generatoare de mare putere şi de instalaţii moderne, cu un înalt grad de automecanizare şi de concentrare a comenzilor, ceea ce asigură funcţionarea continuă a centralei în perfecte condiţii tehnice şi economice.

Cenuşa livrată de centrală, se poate utiliza de fabricile de ciment la elaborarea betonului celular autoclavizat, din care se realizează cărămizi uşoare, panouri mari pentru hale industriale, stîlpi uşori, izolaţii termice hidrofuge şi fonice, precum şi alte produse necesare industriei construcţiilor şi materialelor de construcţii.

I e c craiova

**Comuna Işalniţa, Judeţul Dolj**

*ÎNTREPRINDEREA DE REȚELE ELECTRICE*
**Tg. Mureş, str. Elba nr. 3 — Tel. 5211**



- transportă şi distribuie energie electrică în reţele de înaltă, medie şi joasă tensiune

*Execută:*

- verificări de aparate electrice de măsură şi control în laboratorul PRAM
- lucrări de construcţii-montaj la electrificări rurale şi industriale şi instalaţii interioare
- lucrări de întreţinere la iluminatul public
- proiecte de instalaţii energetice

# I.R.E. TG. MUREŞ

# I. R. E. BAIA MARE

*ASIGURĂ*

**alimentarea cu energie electrică din sistemul energetic național a tuturor consumatorilor din zonă, în condiții de siguranță și de bună calitate.**
**Instalațiile sale de producere, transport și distribuție dispun de echipamente moderne și sînt exploatate la un înalt grad de tehnicitate.**

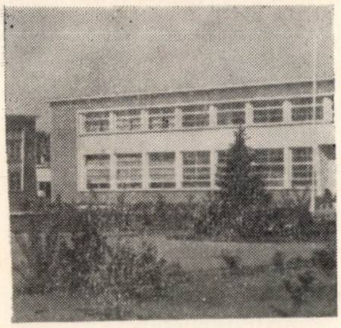
*ASIGURĂ*

**solicitanților proiectarea și executarea instalațiilor necesare pentru alimentarea cu energie electrică.**

**ÎNTREPRINDEREA DE REȚELE ELECTRICE**
**BAIA MARE** Str. Victoriei nr. 66

# I.P.R.S. Băneasa

## ÎNTREPRINDEREA DE PIESE RADIO ȘI SEMICONDUCTORI BĂNEASA



STR. EROU IANCU NICOLAE NR. 32 • SECTORUL 2

TELEFON 33.38.30

TELEX. 011203

TRANZISTOARE
- de joasă frecvență
- de înaltă frecvență și comutație
- de putere

DIODE
- de semnal și comutație
- redresoare
- redresoare pentru curenți mari
- stabilizatoare de tensiune
- de putere cu siliciu

CIRCUITE INTEGRATE

REZISTOARE
- cu peliculă de carbon
- bobinate

TERMISTOARE

CONDENSATOARE
- polistiren (tip styroflex)
- poliester metalizat
- hîrtie metalizată
- hîrtie echipament auto
- hîrtie antiparazitare
- hîrtie pentru telefonie

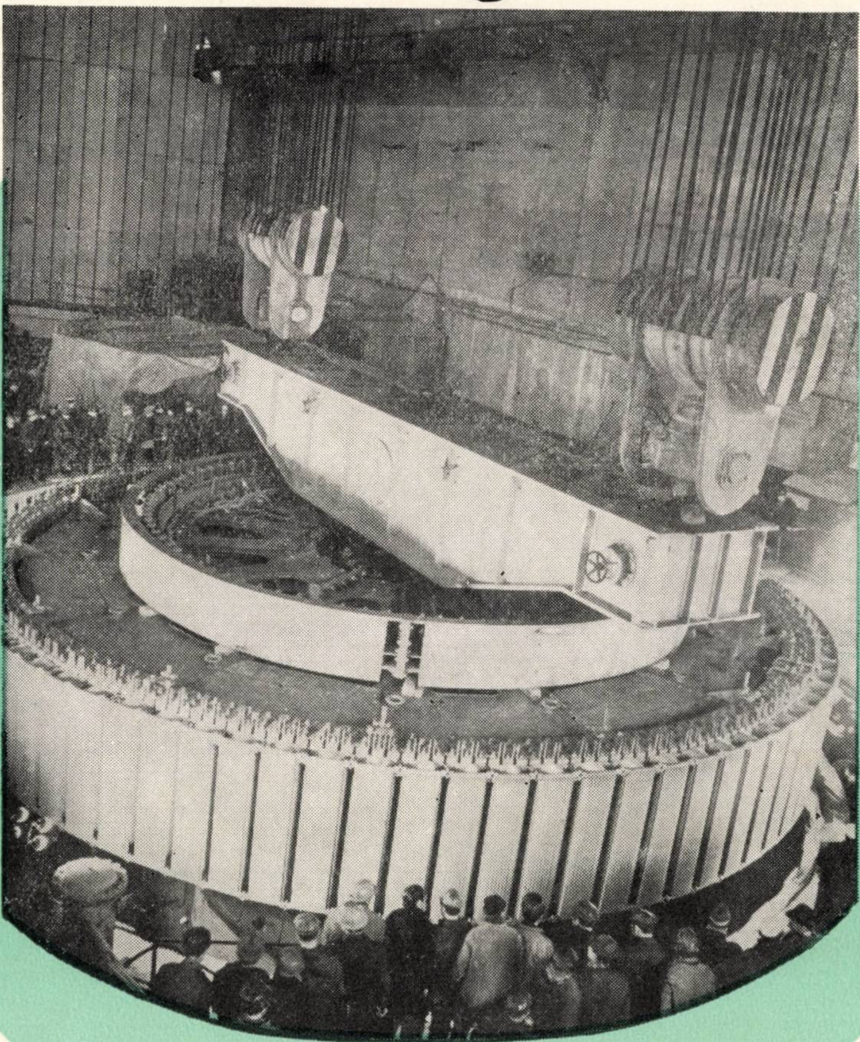
CONDENSATOARE ELECTROLITICE
- normale
- miniatură
- nepolarizate

CONDENSATOARE CERAMICE
- disc
- tubulare
- plachetă
- ajustabile

CABLAJE IMPRIMATE

CATALOAGELE I.P.R.S.—BĂNEASA, (Rezistoare, Condensatoare, Cablaje imprimate, Tranzistoare, Diode) se livrează de I.P.R.S.—BĂNEASA—Serv. Desfacere, Str. Erou Iancu Nicclae nr. 32 București II, la primirea sumei de lei 56 prin mandat poștal.

# ÎNTREPRINDEREA Energomontaj



**EXECUTĂ MONTAREA, PUNEREA ÎN FUNCŢIUNE ŞI DAREA ÎN EXPLOATARE A ECHIPAMENTELOR ŞI INSTALAŢIILOR ENERGETICE PENTRU CENTRALE TERMOELECTRICE ŞI HIDROELECTRICE:**

- **Echipamente şi instalaţii pentru centrale termoelectrice şi centrale electrice de termoficare:**
  - cazane de abur de mare capacitate şi parametri inalţi de funcţionare
  - turbine cu abur de puteri unitare pînă la 345 MW
  - instalaţii de combustibil pentru cărbuni, păcură, gaze
  - alte instalaţii termomecanice şi mecanice aferente centralelor termoelectrice: recipiente, conducte, pompe etc.

- **Echipamente şi instalaţii pentru centrale hidroelectrice şi instalaţii hidrotehnice:**
  - turbine hidraulice de orice tip, pînă la puteri unitare de 176 MW
  - conducte forţate
  - echipamente şi alte instalaţii hidromecanice şi mecanice pentru centrale hidroelectrice şi termoelectrice
  - echipamente şi instalaţii pentru ecluze

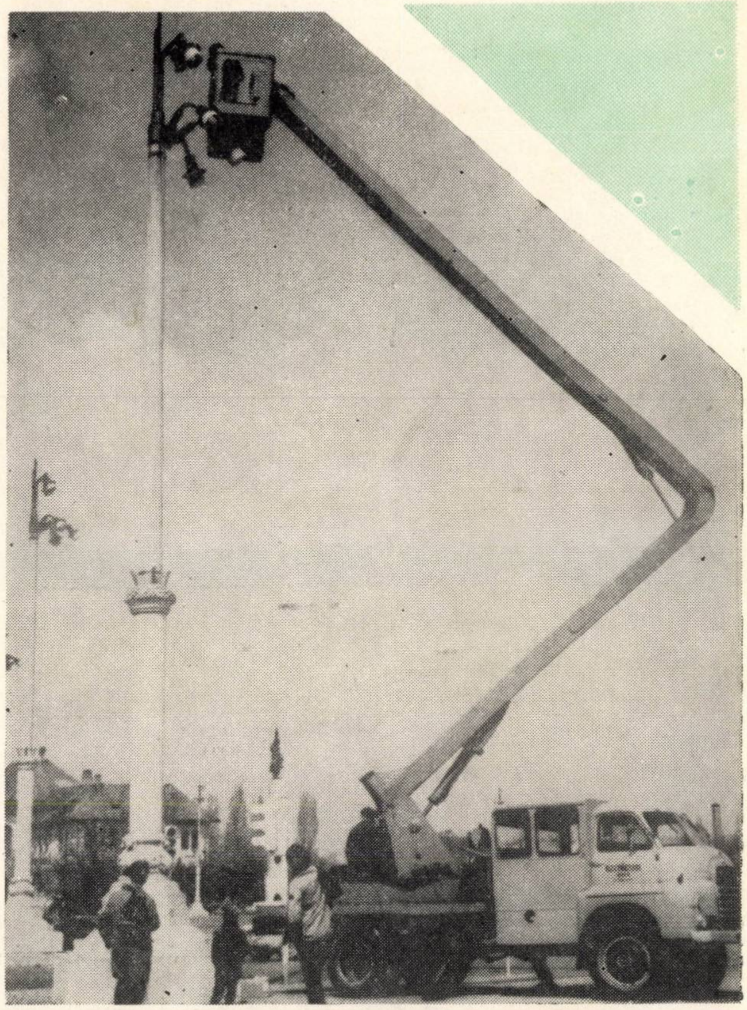
- **Echipamente şi instalaţii electrice pentru centrale termoelectrice şi hidroelectrice, staţii electrice şi instalaţii speciale:**
  - instalaţii de comutaţie primară pînă la tensiunea de 400 kV inclusiv
  - instalaţii de servicii interne în centrale şi staţii electrice
  - instalaţii de comutaţie secundară
  - instalaţii de automatizare

BUCUREŞTI, Calea Dorobanţi nr. 105 Telefon: 12.76.30, telex: 335

# IDEB

*ÎNTREPRINDEREA DE DISTRIBUŢIE A ENERGIEI ELECTRICE*
*— BUCUREŞTI —*

*Bd. 1 Mai nr.* 41—43
*telefon* : 18.08.00

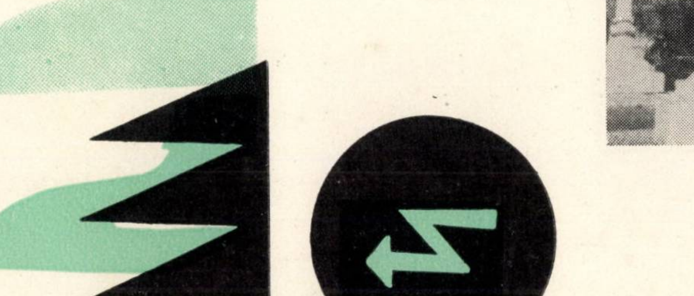


*PROIECTEAZĂ — EXECUTĂ — EXPLOATEAZĂ:*

**— Instalaţii electrice necesare transportului, transformării, distribuţiei şi alimentării cu energie electrică a consumatorilor casnici şi industriali, iluminatului străzilor şi bulevardelor etc., de pe teritoriul Municipiului Bucureşti.**

**PRIN GRADUL RIDICAT DE TEHNICITATE, CALITATEA PROIECTELOR, EXECUŢIEI LUCRĂRILOR ŞI EXPLOATĂRII INSTALAŢIILOR, ALIMENTAREA CU ENERGIE ELECTRICĂ A CONSUMATORILOR SE FACE CONTINUU, ÎN CELE MAI BUNE CONDIŢII TEHNICE ŞI ECONOMICE.**

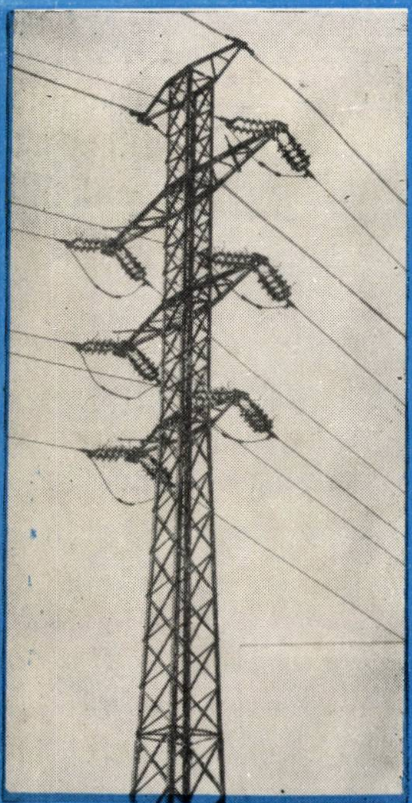
**— Pentru orice probleme legate de alimentarea cu energie electrică şi funcţionarea instalaţiilor electrice, adresaţi-vă cu încredere serviciilor de specialitate ale întreprinderii şi în mod special pentru :**



- *sporuri de putere pentru obiective industriale şi construcţii de orice fel*
- *studii şi proiecte pentru alimentarea cu energie electrică*
- *montarea şi verificarea agregatelor de măsură*
- *verificarea instalaţiilor electrice interioare şi a prizelor de pămînt*
- *furnizarea datelor necesare pentru stabilirea oportunităţii executării instalaţiilor de îmbunătăţire a factorului de putere*
- *asistenţa tehnică necesară la punerea în funcţiune a instalaţiilor de alimentare cu energie electrică*
- *remedierea deranjamentelor din reţeaua de alimentare*

# IRE SUCEAVA

**ÎNTREPRINDEREA DE REȚELE ELECTRICE SUCEAVA**
**Str. 23 August nr. 1**



*proiectează, execută și exploatează :*

- **posturi și stații de transformare**
- **linii electrice aeriene și subterane de transport și distribuție**
- **instalații de iluminat exterior**
- **instalații electrice interioare**

*execută :*

**încercări profilactice la aparatajul electric și verificări de protecții prin relee**

*asigură :*

**buna deservire a consumatorilor de energie electrică din sectorul industrial, agricol și casnic din regiune**

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁR ÉS DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT 1883

# TEM

**EXECUTĂ PRIN UNITĂȚILE SALE DE CONSTRUCȚII:**

- Stații electrice pînă la 400 kV și posturi de transformare de orice mărime și pentru orice raport de transformare
- Linii electrice aeriene de transport și distribuție pentru tensiuni pînă la 400 kV
- Linii electrice de distribuție în cablu, de înaltă, medie și joasă tensiune
- Electrificări rurale
- Instalații de iluminat public

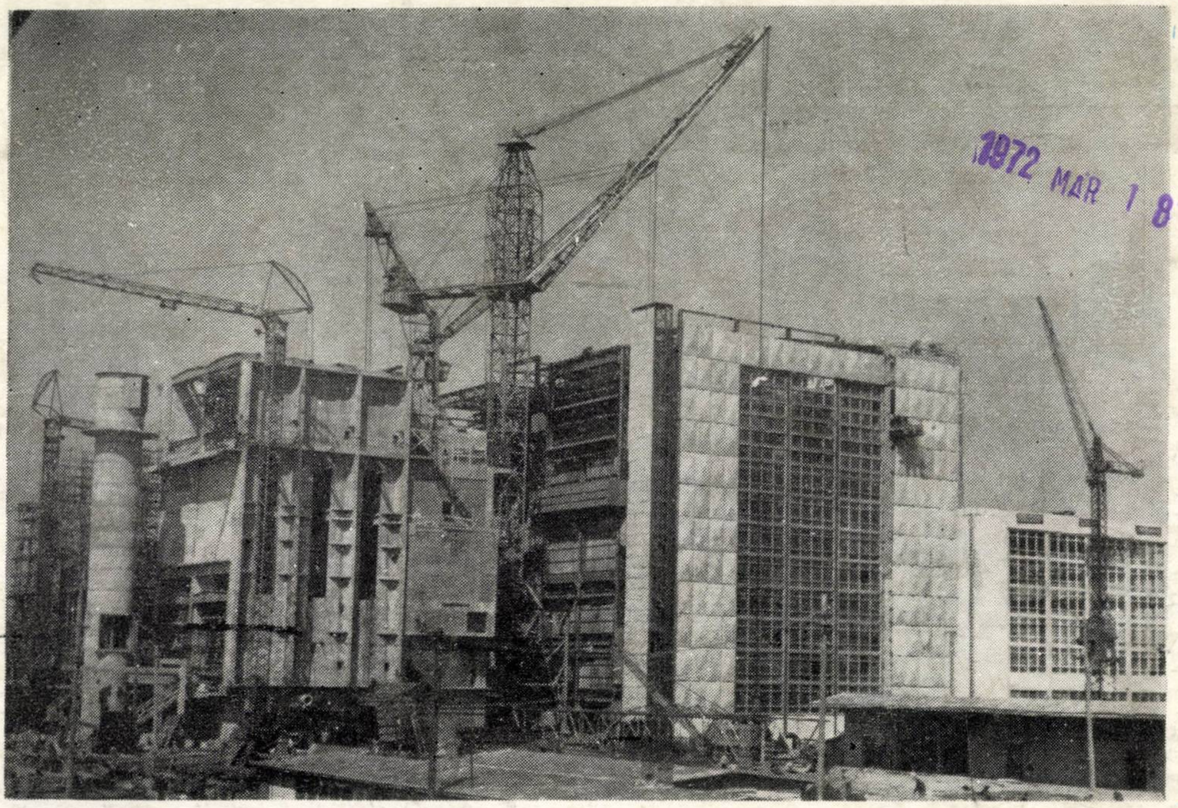
**PRODUCE PRIN UNITĂȚILE SALE INDUSTRIALE:**

- Stîlpi metalici pentru linii electrice aeriene de înaltă și foarte înaltă tensiune, în construcție sudată sau bulonată zincată;
- Stîlpi de beton armat centrifugat sau vibrat pentru linii electrice aeriene de înaltă, medie și joasă tensiune;
- Panouri de comandă, măsură, protecție și semnalizare pentru centrale și stații electrice;
- Celule prefabricate de tip deschis pînă la 20 kV și 2500 A;
- Posturi de transformare urbane și rurale complet prefabricate pînă la 20 kV și 630 kVA;
- Diverse prefabricate pentru centrale electrice, stații, posturi de transformare și linii electrice de transport și distribuție.

**LA EXECUTAREA PRODUSELOR INDUSTRIALE ȘI A INSTALAȚIILOR ELECTRICE, TRUSTUL ELECTROMONTAJ FOLOSEȘTE PROCEDEE TEHNOLOGICE MODERNE DE MARE PRODUCTIVITATE, CARE CONDUC LA DURATE SCURTE DE EXECUȚIE ȘI LA UN INALT NIVEL CALITATIV AL LUCRĂRILOR ȘI PRODUSELOR.**

## TRUSTUL ELECTROMONTAJ

București, Calea Moșilor Nr. 158, tel. 16.63.30, telex TRELMONTAJ — 271




Execută prin unităţile sale :

- **Lucrări de construcţii termoenergetice :**

— centrale termoelectrice
— termoficări urbane şi industriale
— construcţii hidrotehnice aferente centralelor termoelectrice
— coşuri de fum prin glisare, cu înălţimi pînă la 250 m
— turnuri de răcire cu tiraj natural şi tiraj forţat
— montaje de prefabricate grele din beton armat pentru orice construcţie termoenergetică

- **Lucrări de montaj pentru centrale termo şi hidroelectrice :**

— cazane de abur moderne de mari capacităţi cu parametri ridicaţi
— turbine cu abur pînă la 345 MW
— turbine cu gaze pînă la 35 MW
— turbine hidraulice pînă la 176 MW
— generatoare electrice
— compensatoare sincrone
— instalaţii termomecanice şi hidromecanice pentru centrale termoelectrice şi hidroelectrice
— instalaţii electrice de joasă, înaltă şi foarte înaltă tensiune, aferente centralelor electrice
— instalaţii de măsură, control, automatizare, atît la partea mecanică cît şi la partea electrică.

# TCME

- **Lucrările de construcţii şi montaje se execut de către Trustul de Construcţii şi Montaje Ener getice prin metode tehnologice moderne de mar productivităţi, în durate de timp minime s la un înalt grad de calitate.**

# TRUSTUL DE CONSTRUCŢII ŞI MONTAJE ENERGETICE

Bucureşti, Calea Moşilor nr. 158
Tel. 16.63.30, Telex : 271

2039
04-001

MW

3

**LUCRĂRILE CELEI DE-A 8-a CONFERINȚE MONDIALE A ENERGIEI**
*BUCUREȘTI, 28.VI - 2.VII, 1971*

# energetica

VOLUMUL XX
BUCUREȘTI • MARTIE 1972

0 6 12 18 24

# TEM

**EXECUTĂ PRIN UNITĂŢILE SALE DE CONSTRUCŢII:**

- Staţii electrice pînă la 400 kV şi posturi de transformare de orice mărime şi pentru orice raport de transformare
- Linii electrice aeriene de transport şi distribuţie pentru tensiuni pînă la 400 kV
- Linii electrice de distribuţie în cablu, de înaltă, medie şi joasă tensiune
- Electrificări rurale
- Instalaţii de iluminat public

**PRODUCE PRIN UNITĂŢILE SALE INDUSTRIALE:**

- Stîlpi metalici pentru linii electrice aeriene de înaltă şi foarte înaltă tensiune, în construcţie sudată sau bulonată zincată;
- Stîlpi de beton armat centrifugat sau vibrat pentru linii electrice aeriene de înaltă, medie şi joasă tensiune;
- Panouri de comandă, măsură, protecţie şi semnalizare pentru centrale şi staţii electrice;
- Celule prefabricate de tip deschis pînă la 20 kV şi 2500 A;
- Posturi de transformare urbane şi rurale complet prefabricate pînă la 20 kV şi 630 kVA;
- Diverse prefabricate pentru centrale electrice, staţii, posturi de transformare şi linii electrice de transport şi distribuţie.

**LA EXECUTAREA PRODUSELOR INDUSTRIALE ŞI A INSTALAŢIILOR ELECTRICE, TRUSTUL ELECTROMONTAJ FOLOSEŞTE PROCEDEE TEHNOLOGICE MODERNE DE MARE PRODUCTIVITATE, CARE CONDUC LA DURATE SCURTE DE EXECUŢIE ŞI LA UN ÎNALT NIVEL CALITATIV AL LUCRĂRILOR ŞI PRODUSELOR.**

## TRUSTUL ELECTROMONTAJ

Bucureşti, Calea Moşilor Nr. 158, tel. 16.63.30, telex TRELMONTAJ — 271

# ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 20 Nr. 3 MARTIE

## Cuprinsul



| | | Pag. |
|---|---|---|
| *Stăncescu, I.D.* şi *Nitu, V.I.* | A VIII-a Conferinţă Mondială a Energiei | 85–91 |
| *Antonescu, V.* şi *Mişu, Al.* | Diviziunea 1. **Cereri de energie: aspecte noi în dezvoltarea tehnică şi economică** | 91–94 |
| *Burducea, C.* şi *Budeanu, C.* | Diviziunea 2. **Procese noi sau progrese cu caracter general privind ameliorarea proceselor separate de producere, de transport, de transformare şi de consum de energie** | 95–99 |
| *Stăncescu, I.D.* şi *Moţoiu, C.* | Diviziunea 3.: **Scheme şi instalaţii pentru utilizări complexe ale energiei în scopuri multiple** | 99–106 |
| *Costin, E.* | Diviziunea 4. **Metode noi de calcul tehnic şi economic promovînd o mai bună utilizare a energiei** | 106–111 |
| *Costin, E.* | Diviziunea 5. **Implicaţiile economice şi sociale ale îmbunătăţirii utilizării energiei** | 111–112 |
| *Nitu, V.I.* | **Problemele de fiabilitate în preocupările celei de-a VIII-a Conferinţe Mondiale a Energiei** | 113–120 |
| *Burducea, C.* şi *Moţoiu, C.* | **Poluarea mediului înconjurător de către efluenţii centralelor termoelectrice** | 120–123 |
| * * * | **Lista rapoartelor prezentate la cea de-a VIII-a Conferinţă Mondială a Energiei** | 124–129 |



COMITETUL DE REDACŢIE

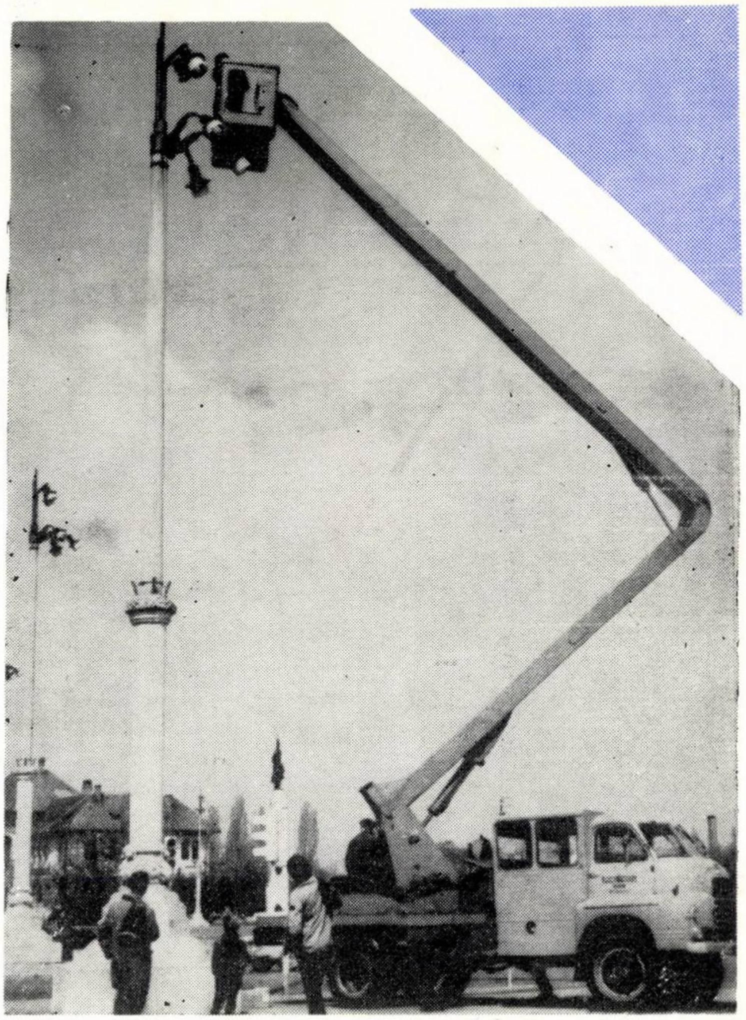
Prof. univ. emerit ing. I. D. STĂNCESCU, redactor responsabil, ing. Gr. IORGULESCU, redactor responsabil adjunct, conf. ing. I. A. BADEA, ing. ST. BERENGHI, conf. ing. A. COGĂLNICEANU, dr. ing. P. DIMO, membru corespondent al Academiei Republicii Socialiste România, laureat al Premiului de Stat, ing. H. FURTUNESCU, ing. P. IFTIME, ing. L. LUCA, ing. B. MARCU, dr. ing. A. MĂCRIS, conf. ing. C. MIHĂILEANU, prof. dr. ing. V. I. NITU, ing. A. SPÎNU, ing. R. ZANE

OFICIUL DE DOCUMENTARE ENERGETICĂ

IDEB

*ÎNTREPRINDEREA DE DISTRIBUŢIE A ENERGIEI ELECTRICE*
*— BUCUREŞTI —*

*Bd. 1 Mai nr.* 41—43
*telefon* : 18.08.00



*PROIECTEAZĂ — EXECUTĂ — EXPLOATEAZ*

**— Instalaţii electrice necesare transportului, transformării, distribuţiei şi alimentării cu energie electrică a consumatorilor casnici şi industriali, iluminatului străzilor şi bulevardelor etc., de pe teritoriul Municipiului Bucureşti.**

**PRIN GRADUL RIDICAT DE TEHNICITATE, CALITATEA PROIECTELOR, EXECUŢIEI LUCRĂRILOR ŞI EXPLOATĂRII INSTALAŢIILOR, ALIMENTAREA CU ENERGIE ELECTRICĂ A CONSUMATORILOR SE FACE CONTINUU, ÎN CELE MAI BUNE CONDIŢII TEHNICE ŞI ECONOMICE.**

**— Pentru orice probleme legate de alimentarea cu energie electrică şi funcţionarea instalaţiilor electrice, adresaţi-vă cu încredere serviciilor de specialitate ale întreprinderii şi în mod special pentru :**

— *sporuri de putere pentru obiective industriale şi construcţii de orice fel*
— *studii şi proiecte pentru alimentarea cu energie electrică*
— *montarea şi verificarea agregatelor de măsură*
— *verificarea instalaţiilor electrice interioare şi a prizelor de pămînt*
— *furnizarea datelor necesare pentru stabilirea oportunităţii executării instalaţiilor de îmbunătăţire a factorului de putere*
— *asistenţa tehnică necesară la punerea în funcţiune a instalaţiilor de alimentare cu energie electrică*
— *remedierea deranjamentelor din reţeaua de alimentare*

## СОДЕРЖАНИЕ


ДК 061.3 :620.9 :621.3

*Стэнческу. И. Д.* и *Ниту, В.И.:* **VIII Международная Конференция Энергии**

Energetica 20 (1972), № 3, стр. 85 -91

---

ДК 620.9

*Антонеску, В.* и *Мишу, Ал.:* Раздел 1. **„Потребности энергии: новые аспекты технико-экономического развития“**

Energetica 20 (1972), № 3, стр. 91–94

---

ДК 620.9 :621.311 :621.316

*Бурдучеа, К.* и *Будеану, К.:* Раздел 2. **„Новые процессы или прогрессы общего характера, касающиеся улучшения отдельных процессов выработки, передачи, трансформации и потребления энергии“**

Energetica 20 (1972), № 3, стр. 95–99

---

ДК 621.31:621.175:621.18

*Стэнческу, И. Д.* и *Моцою, К.:* Раздел 3. **„Схемы и установки для комплексного употребления энергии в разных целях”**

Energetica 20 (1972), № 3, стр. 99–106

---

ДК 681.32 :620.9

*Костин, Е.:* Раздел 4. **„Новые методы технического и экономического расчетов для более хорошего употребления энергии“**

Energetica 20 (1972), № 3, стр. 106–111

---

ДК 658.03 :620.9

*Костин, Е.:* Раздел 5. **„Экономические и социальные эффекты улучшения употребления энергии“**

Energetica 20 (1972), № 3, стр. 111–112

---

ДК 621.3.004 :64.519.2 :061.3

*Ниту, В. И.:* **Вопросы надежности в рамках забот VIII Международной Конференции Энергии**

Energetica 20 (1972), № 3, стр. 113–120

---

ДК 628.31 :621.311.22 :687.34

*Бурдучеа, К.* и *Моцою, К.:* **Загрязнение окружающей среды остатками ТЭС**

Energetica 20 (1972), № 3, стр. 120–123


## INHALTSVERZEICHNIS


*Stâncescu, I. D.* und *Nitu, V. I.* : **Die 8. Weltenergiekonferenz**

Energetica 20 (1972), H. 3, S. 85–91

---

DK 620.9

*Antonescu, V.* und *Mişu, Al.* : 8. Abteilung. **Der Energiebedarf. Neue Aspekte der technischen und wirtschaftlichen Entwicklung**

Energetica 20 (1972), H. 3, S. 91–94

---

DK 620.9:621.311:621.316

*Burducea, C.* und *Budeanu, C.* : 2. Abteilung. **Neue Programme allgemeinen Charakters, welche die Verbesserung der einzelnen Prozesse der Energieerzeugung, des Energietransports, der Energieumwandlung oder des Energieverbrauchs verfolgen**

Energetica 20 (1972), H. 3, S. 95–99

---

DK 621.31:621.175:621.18

*Stâncescu, I. D.* und *Moţoiu, C.* 3. Abteilung. **Schaltbilder und Anlagen für komplexen und vielseitigen Verbrauch von Energie**

Energetica 20 (1972) H. 3, S. 99–106

---

DK 681.32:620.9

*Costin, Em.* : 4. Abteilung. **Neue technische und wirtschaftliche Berechnungsverfahren zur Forderung einer besseren Verwendung der Energie**

Energetica 20 (1972) H. 3, S. 106–111

---

DK 658.03:620.9

*Costin, Em.* : 5. Abteilung. **Unausweichliche wirtschaftliche und soziale Folgen der Verbesserung des Energieverbrauchs**

Energetica 20 (1972) H. 3, S. 111–112

---

DK 621.3:004.64:519.2:061.3

*Nitu, V. I.* : **Fragen der Betriebssicherheit im Aufgabenbereich der 8. Weltenergiekonferenz**

Energetica 20 (1972), H, 3, S. 113–120

---

DK 628.31:621.311.22:687.34

*Burducea, C.* und *Moţoiu, C.* : **Schnädigende Beeinflussung der Umwelt durch Ausscheidung von Wärmekraftwerken**

Energetica 20 (1972), H. 3, S. 120–123

# SOMMAIRE


CD 061.3 :620.9 :621.3

*Stăncescu, I.D.* et *Nitu, V. I.* : **La 8ème Conférence Mondiale de l'Energie**

Energetica 20 (1972), no. 3, p. 85–91

CD 620.9

*Antonescu, V.* et *Mişu, Al.* : Division 1. **,,Besoins en énergie : nouveaux développements des structures techniques et économiques"**

Energetica 20 (1972), no. 3, p. 91–94

CD 620.9 :621.311 :621.316

*Burducea, C.* et *Budeanu, C.* : Division 2. **,,Procédés nouveaux ou progrès d'un caractère général concernant l'amélioration des processus séparés pour la production, le transport, la transformation et la consommation d'énergie"**

Energetica 20 (1972), no. 3, p. 95–99

CD 621.31 :621.175 :621.18

*Stăncescu, I.D.* et *Mofoiu, C.* : Division 3. **,,Schémas et installations pour l'utilisation complexe de l'énergie dans des processus à buts multiples"**

Energetica 20 (1972), no. 3, p. 99–106

CD 681.32 :620.9

*Costin, E.* : Division 4. **,,Nouvelles méthodes de calcul technique et économique en vue d'une meilleure mise en valeur de l'énergie**

Energetica 20 (1972), no. 3, p. 106–111

CD 658.03 :620.9

*Costin, E.* : Division 5. **,,Influence économique et sociale de l'utilisation améliorée de l'énergie**

Energetica 20 (1972), no. 3, p. 111–112

CD 621.3.004.64 :519.2 :061.3

*Nitu, V.I.* : **Les problèmes de la fiabilité parmi les préoccupations de la 8ème Conférence Mondiale de l'Energie**

Energetica 20 (1972), no. 3, p. 113–120

CD 628.31 :621.311.22 :687.34

*Budurcea, C.* et *Mofoiu, C.* : **La pollution de l'environnement dûe aux effluents des centrales thermiques**

Energetica 20 (1972), no. 3, p. 120–123


# CONTENTS


DC 061 .3 :620.9 :621.3

*Stăncescu, I.D.* and *Nitu, V.I.* : **The eighth World Energy Conference**

Energetica 20 (1972), no. 3, p. 85–91

DC 620.9

*Antonescu, V.* and *Mişu, Al.* : Division 1. **,,The demand for energy : new developments in technical and economic patterns"**

Energetica 20 (1972), no. 3, p. 91–94

DC 620.9 :621.311 :621.316

*Burducea, C.* and *Budeanu. C.* : Division 2. **,,New processes or progress of a general character in improving single processes for the production, transport, transformation and consumption of energy"**

Energetica 20 (1972), no. 3, p. 95–99

DC 621.31 :621.175 :621.18

*Stăncescu, I.D.* and *Mofoiu, C.* : Division 3. **,,Schemes and installations for the complex use of energy for multi-output processes"**

Energetica 20 (1972), no. 3, p. 99–106

DC 681.32 :620.9

*Costin, E.* : Division 4. **,,New technical and economic calculation methods promoting a better utilization of energy"**

Energetica 20 (1972), no. 3, p. 106–111

DC 658.03 :620.9

*Costin, E.* : Division 5. **,,Economic and social impact of the improved use of energy"**

Energetica 20 (1972), no. 3, p. 111–112

DC 621.3.004.64 :519.2 :061.3

*Nitu, V. I.* : **Problems of power installations safety at the VIII-th World Energy Conference**

Energetica 20 (1972), no. 3, p. 113–120

DC 628.31 :621.311.22 :687.34

*Burducea, C.* and *Mofoiu, C.* : **Environment polution by the efluents of the thermal power plants**

Energetica 20 (1972), no. 3, p. 120–123

# A VIII-a CONFERINȚĂ MONDIALĂ A ENERGIEI

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁR ÉS DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT

**I. D. Stăncescu**
**și V. I. Nitu** *)

Conferința Mondială a Energiei are ca scop promovarea unei concepții științifice pentru valorificarea rațională a resurselor energetice, pe o scară mai largă, în slujba societății, precum și găsirea soluțiilor optime de producere și utilizare a energiei. Ea se ocupă de toate formele de energie, inclusiv nucleară, de la resursele primare și pînă la valorificarea lor sub formă de energie utilă, precum și de aspectele foarte complexe ale relațiilor și legăturilor reciproce dintre diversele forme de energie.

Pînă în anul 1968 activitatea acestei organizații s-a desfășurat în sesiuni plenare — la intervale de 6 ani — și sesiuni parțiale — la intervale variabile — consacrate de obicei unor tematici mai înguste. Începînd cu anul 1968 s-a stabilit să se țină numai sesiuni plenare, organizate la intervale de 3 ani, pe tematici mai ample.

Pentru o mai bună înțelegere a sferei de activitate și a scopurilor acestei prestigioase organizații — cunoscută sub forma prescurtată de CME, după denumirea în limba franceză („Conférence Mondiale de l'Energie") sau WEC, după denumirea în limba engleză („World Energy Conference") — este utilă trecerea în revistă a tematicii precedentelor reuniuni de la constituirea sa, din anul 1924, cînd printre membrii fondatori se număra și România.

Prima Conferință Mondială a Energiei a avut loc în anul 1924, la Londra, cu tema „Resursele mondiale de energie și combustibili și utilizarea acestor resurse de maniera cea mai avantajoasă", urmată de 4 sesiuni parțiale, și anume :

— Bâle, 1926, „Dezvoltarea energiei hidraulice și a navigației interioare etc.".

— Londra, 1928, „Economia generală a industriei combustibililor ; prepararea și utilizarea combustibililor".

— Barcelona, 1929, „Utilizarea și economia resurselor hidraulice".

— Tokyo, 1929, „Evoluția națională și internațională a resurselor de energie".

A doua Conferință Mondială a Energiei a avut loc la Berlin, în 1930, cu tema „Problema energiei studiată sub diverse aspecte", urmată de o sesiune parțială care a avut loc în Scandinavia, în 1933, cu tema „Problemele energiei în marea industrie și în transporturile terestre și maritime".

A treia Conferință Mondială a Energiei a avut loc în 1936, la Washington, cu tema „Economia națională de energie", urmată de o sesiune parțială, la Viena, în 1938, cu tema „Livrarea de energie agriculturii, micii industrii, consumului casnic, iluminatului public și transportului feroviar".

Activitatea acestei organizații este întreruptă de cel de-al doilea război mondial, tocmai în faza în care studia căile de introducere a energiei în industrie, transporturi, mediul rural, în scopul creșterii randamentului și confortului în viața omului.

Reluarea activității organizației a avut loc în 1947, în orașul La Haye, într-o sesiune parțială, cu tema „Economia de combustibil după anul 1939. Producția, distribuția și utilizarea combustibililor și a energiei".

A patra sesiune plenară a avut loc la Londra, în 1950, cu tema „Resursele mondiale și producția de energie", a cincea la Viena, în 1956, cu tema „Resursele mondiale de energie în lumina recentelor progrese tehnice și economice", a șasea la Melbourne, în 1962, cu tema „Aspectele noi în domeniul energiei", iar a șaptea la Moscova, în 1968, cu tema „Resursele energetice mondiale și utilizarea lor în folosul umanității".

Între anii 1952 și 1966 au avut loc șapte sesiuni parțiale consacrate unor probleme particulare ale energeticii.

A VIII-a Conferință Mondială a Energiei s-a ținut la București între 28.VI și 2.VII.1971, cu tema „Progrese în valorificarea energiei, în special prin utilizarea ei complexă", temă propusă de Comitetul Național Român și acceptată de Consiliul Executiv Internațional. Această temă acoperă o gamă largă de subiecte generale și speciale în legătură cu valorificarea superioară a energiei. Ea a fost împărțită în cinci diviziuni, fiecare fiind subîmpărțită în secții.

Alegerea Republicii Socialiste România ca gazdă pentru această importantă manifestare internațională s-a datorat, între alte considerente, și realizărilor țării noastre în domeniul energetic. Într-adevăr, România cunoaște, în general, inclusiv în domeniul energetic, unul dintre cele mai rapide ritmuri de dezvoltare din lume și deține importante realizări în valorificarea complexă a energiei. Prin activitatea creatoare desfășurată în domeniile planificării și analizei sistemului energetic, în construcția de centrale hidroelectrice și termoelectrice, linii electrice de înaltă tensiune și stații de transformare, în țara noastră s-a format o adevărată școală energetică ce se distinge nu numai prin proiectarea unor obiective energetice remarcabile, dar și printr-o concepție tehnico-științifică proprie.

---

*) Ing. Ioan D. Stăncescu este profesor universitar emerit la Institutul politehnic București, membru în Colegiul Ministerului Energiei Electrice, consilier al ministrului învățămîntului ; prof. dr. ing. Vasile I. Nitu este directorul I.S.P.E.

Astfel, în perioada 1950–1970 consumul de energie primară din România a cunoscut un înalt ritm de dezvoltare, ceea ce a condus la creşterea rapidă a consumului specific de energie pe locuitor de la 705 kg c.c. în 1950 la circa 2900 kg c.c. în 1970, preconizîndu-se ca în anul 1980 să se ajungă la circa 4300 kg c.c. Ritmul mediu anual de creştere a consumului de energie primară în perioada 1950–1960 a fost de 9,6 %, iar în perioada 1960–1970 de 7,4 %. Puterea instalată a crescut faţă de anul 1950 cu 6600 MW, adică de circa 10 ori, producţia de energie electrică cu circa 33 TWh, adică de peste 17 ori, producţia de căldură cu 40 200 Gcal, adică de peste 23 de ori, iar lungimea reţelelor electrice a crescut de peste 80 de ori.

Trebuie arătat că pe plan mondial se realizează în medie o dublare a producţiei de energie electrică la un interval de 10 ani, pe cînd ţara noastră realizează această dublare la 5–6 ani.

A VIII-a Conferinţă Mondială a Energiei a constituit un for de dezbateri şi învăţăminte, marcînd încă o contribuţie importantă la folosirea resurselor energetice, cît mai complet şi mai complex, în slujba omului.

Ceremonia de deschidere a avut loc la 28 iunie 1971, în Sala Palatului Republicii Socialiste România, în prezenţa preşedintelui Consiliului de Stat al Republicii Socialiste România, Nicolae Ceauşescu, şi a preşedintelui Consiliului de Miniştri, Ion Gheorghe Maurer, sub al căror înalt patronaj s-au desfăşurat lucrările celei de-a VIII-a Conferinţe Mondiale a Energiei.

Au asistat peste 2 500 de invitaţi, delegaţi oficiali, participanţi şi însoţitorii acestora, din 51 de ţări ale lumii.

Cuvîntul de deschidere a fost rostit de Octavian Groza, preşedintele Comitetului de Organizare a celei de-a VIII-a Conferinţe Mondiale a Energiei şi preşedintele Comitetului Naţional Român pentru Conferinţa Mondială a Energiei.

Preşedintele Consiliului de Stat al Republicii Socialiste România, Nicolae Ceauşescu, a rostit un cuvînt de salut adresat participanţilor la Conferinţă, urmărit cu viu interes şi aplaudat îndelung de cei prezenţi.

A luat apoi cuvîntul preşedintele Conferinţei Mondiale a Energiei, P.S. Neporojnîi, ministrul energeticii şi electrificării al U.R.S.S., care a mulţumit guvernului român şi comitetului de organizare şi a menţionat interesul manifestat pentru tematica conferinţei.

În a doua parte a şedinţei, P.S. Neporojnîi a prezentat raportul „Prezentul şi viitorul energeticii mondiale", în care sînt trecute în revistă cele mai noi realizări în domeniul energiei de la precedenta conferinţă, şi a schiţat perspectivele energeticii mondiale.

Conferinţa a fost apoi salutată de preşedintele Consiliului Executiv Internaţional, Walker Cisler, care a transmis şi mesajul adresat de Sir Harold Hartley, preşedinte de onoare al Consiliului Executiv Internaţional.

Participanţii la Conferinţă au fost salutaţi apoi de preşedinţii unor comitete naţionale, şi anume: Roger Gaspard (Franţa), Laszlo Heller (Ungaria), Gordon Mac Nabb (Canada), John Reginald Cotrim (Brazilia) şi Eduardo Lombardi-Vallauri (Italia), precum şi din partea secretarului general al O.N.U., U Thant, prin reprezentantul său Pierre Sevette, directorul Diviziei Energiei din Comisia Economică pentru Europa a O.N.U., de Victor Constantinescu, reprezentantul Consiliului de Ajutor Economic Reciproc şi de Cristian Laading, reprezentantul Organizaţiei pentru Cooperare şi Dezvoltare Economică.

În cadrul lucrărilor au fost prezentate 234 de rapoarte întocmite de specialişti din 37 de ţări şi din cadrul a două organizaţii internaţionale, O.N.U. şi C.A.E.R. Participanţii români au contribuit cu 23 de rapoarte. Pentru fiecare dintre cele cinci diviziuni ale programului tehnic a fost întocmit cîte un raport general de către doi specialişti români.

Au prezentat un număr mai mare de rapoarte comitetele naţionale din: România 23; Franţa 20; S.U.A. 20; Japonia 17; Marea Britanie 16; Republica Federală a Germaniei 15; U.R.S.S 15; Canada 13.

În cele ce urmează sînt expuse pe scurt problemele mai importante care au fost dezbătute în fiecare diviziune.

*Diviziunea 1*: **„Cereri de energie: aspecte noi în dezvoltarea tehnică şi economică"**, cu secţiile:

1.1. Industrie
1.2. Consumul casnic de energie
1.3. Centre populate noi sau în dezvoltare rapidă
1.4. Agricultură
1.5. Alte domenii (transport, comerţ)
1.6. Consumul total de energie

Au fost prezentate 28 de rapoarte. Raportorii generali, V. Antonescu şi Al. Mişu (România), au supus discuţiei o serie de probleme referitoare la:

— Influenţa progreselor tehnice asupra consumului de energie al industriei, formele de energie, consumurile specifice şi consumurile totale.

— Creşterea rapidă a cererilor de energie pentru scopuri casnice, pentru consumul centrelor populate noi sau în dezvoltare rapidă şi pentru agricultură şi influenţa acestora asupra structurii şi dezvoltării consumului total de energie.

— Problemele consumului total de energie.

În şedinţele diviziunii, conduse de Sir W. H. Connoly (Australia), vicepreşedinţi fiind A.G. Mutogan (Turcia) şi C. Mihăileanu (România), au luat cuvîntul 34 de participanţi.

Discuţiile au pus în evidenţă interesul deosebit pentru căile de soluţionare a problemelor energetice ale oraşelor noi sau în dezvoltare rapidă şi apelarea la noi resurse de energie pe lîngă dezvoltarea în continuare a resurselor clasice.

S-a arătat că creşterea puterilor absorbite de consumatorii industriali şi a densităţilor de sarcină în zonele industriale a condus la o serie de noi aspecte. Astfel, puterile mari cerute de unităţile industriale conduc la racorduri directe din reţeaua de 220 kV.

Procesele tehnologice complexe, foarte sensibile la variaţii de tensiune, conduc la soluţii de alimentare complexe şi pun probleme de optimizare economică.

Un mare interes s-a acordat problemelor de miniaturizare a staţiilor şi posturilor de transformare.

Pentru o mai bună prognoză a consumurilor de energie în industrie s-a subliniat necetatea introducerii unor indici de consum.

De asemenea, s-a remarcat că în luarea de decizii referitoare la prognoză şi asigurarea cu energie a diverşilor consumatori este necesar să se apeleze la modele matematice, care, cu ajutorul calculatoarelor electronice, să permită găsirea soluţiei optime.

În privinţa unor utilizări industriale, s-a menţionat realizarea unor instalaţii de electroflotaţie, de tăiere cu plasmă şi de uscare de înaltă frecvenţă.

În cadrul schemelor de alimentare cu energie a noilor oraşe s-au discutat şi aspectele legate de producerea separată sau combinată a energiei electrice şi a căldurii, constatîndu-se că nu se poate stabili o soluţie optimă general valabilă. De exemplu, în cazul unui oraş nou, cu dezvoltare etapizată pe termen lung, a rezultat mai favorabilă soluţia de încălzire individuală a caselor. S-au arătat apoi şi alte cazuri în care a rezultat ca soluţie optimă încălzirea de cartier, respectiv termoficarea.

Din intervenţiile făcute s-a mai desprins interesul acordat problemei transporturilor, în ideea punerii la punct a unor soluţii pentru crearea unui vehicul „curat". Soluţiile ce se întrevăd sînt legate de realizarea unei pile de combustie sau de utilizarea gazelor naturale lichefiate drept combustibil nepoluant.

Cît priveşte transporturile pe distanţe mari, s-au relevat avantajele tracţiunii electrice, care conduce la reducerea poluării şi la o influenţă favorabilă asupra curbei de sarcină.

În cadrul discuţiilor purtate s-a încercat, de asemenea, să se desprindă direcţia generală viitoare pentru evoluţia cererii de energie şi modul în care se prevede satisfacerea ei.

O constatare mult comentată, cu implicaţii mari pentru viitor, este faptul că a apărut tendinţa de creştere mai rapidă a consumului de energie decît produsul naţional brut. Motivările acestui fapt sînt multiple, ele depizînd de specificul fiecărei ţări în care s-a analizat problema.

*Diviziunea 2*: **„Procese noi sau progrese cu caracter general privind ameliorarea proceselor separate de producere, de transport, de transformare şi de consum de energie"**, cu secţiile :

2.1. Consideraţii economice şi concepţia generală
2.2. Energie hidraulică
2.3. Combustibili clasici
2.4. Energie nucleară
2.5. Alte surse de energie şi de producere directă a energiei electrice

Au fost prezentate 82 de rapoarte. Raportorii generali, C. Burducea şi Fl. Iorgulescu (România) au supus discuţiei un număr mare de probleme, grupate în trei şedinţe tehnice.

În şedinţele acestei diviziuni, conduse de lordul Hinton of Bankside (Marea Britanie), vicepreşedinţi fiind C. Th. Kromer (Republica Federală a Germaniei) şi C. Dinculescu (România), au luat cuvîntul 90 de participanţi. Au fost aduse clarificări într-o serie de probleme, ca :

—Determinarea structurii optime a puterilor care trebuie instalate în sistemele energetice. Prin aceasta se subliniază preocupările care există în mai multe ţări pentru stabilirea concepţiei de dezvoltare generală a sistemelor energetice şi implicaţiile asupra industriilor care participă la realizarea echipamentelor.

S-a arătat, totodată, că alegerea structurii viitoare a sistemelor energetice trebuie să se bazeze pe minimizarea cheltuielilor actualizate, luînd în considerare atît investiţiile şi cheltuielile anuale de exploatare, cît şi valoarea pagubelor cauzate de întreruperile în livrarea energiei electrice. Originalitatea rezolvării acestei probleme în Franţa constă în întrebuinţarea concomitentă a modelelor globale de dezvoltare şi a metodelor de calcul al rentabilităţii proiectelor individuale.

— Determinarea puterilor maxime ale blocurilor din centralele electrice. Au fost evidenţiate o serie de idei privind tendinţa manifestată în ţările europene de a utiliza în centralele termoelectrice clasice grupurile cu putere maximă de 500—600 MW, iar în centralele nuclearoelectrice — dată fiind puterea reactoarelor — grupurile de 1000—1200 MW.

În acest sens, s-a arătat că puterea maximă a blocurilor este condiţionată în primul rînd de disponibilitatea acestora, şi nu de relaţia dintre puterea grupului şi a sistemului în ansamblu.

De asemenea, trebuie să se ţină seamă de interdependenţa dintre palierul maxim al tensiunii reţelei de transport şi puterea unitară a grupului, de echiparea centralelor cu un număr

redus de grupuri pentru crearea unei mai mari elasticităţi în alegerea amplasamentelor.

— Dezvoltarea în continuare a interconexiunii sistemelor energetice.

— Ameliorarea folosirii surselor hidraulice prin îmbunătăţirea echipamentelor şi reducerea investiţiilor specifice.

— Ameliorarea ciclurilor termice.

— Realizarea unor centrale cu ciclu combinat abur-gaze, precum şi ameliorările posibile ale ciclurilor termice la centrale electrice care utilizează astfel de instalaţii. În prima categorie este caracteristică preponderenţa instalaţiei cu abur, turbina cu gaze avînd în general o putere de numai 20—25 % din cea a turbinei cu abur. Dezavantajul acestui tip de instalaţie combinată constă în scăderea rapidă a randamentului la sarcini parţiale. În cea de-a doua categorie, instalaţia de gaze este dominantă, turbina cu abur avînd numai jumătate din puterea turbinei cu gaze. Caracteristica acestui tip de instalaţie o constituie posibilitatea unei porniri rapide şi menţinerea unui randament bun pe un interval larg de sarcini.

— Preocupările pentru ameliorarea concepţiei tehnice a diferitelor tipuri de reactoare, precum şi a combustibilului nuclear.

Intervenţiile au arătat că, deşi nu se contestă viitorul centralelor nuclearoelectrice în acoperirea necesarului de energie mereu în creştere, a fost totuşi acceptată opinia că ritmul de trecere la tipul de centrale nuclearoelectrice este mai lent decît cel prevăzut în anii '60.

În ansamblu, discuţiile au marcat menţinerea disputei între filierele de reactoare cu neutroni termici. Opinia că reactoarele cu uraniu îmbogăţit devin neeconomice la jumătatea vieţii lor a fost determinată în principal de creşterea preţului uraniului îmbogăţit (care numai în ultimul an a fost de 25 %) şi de faptul că dezvoltarea reactoarelor rapide este foarte costisitoare. Acest ultim aspect a fost confruntat cu un mare număr de intervenţii tratînd în detaliu realizările experimentale ale unor astfel de reactoare.

S-a mai arătat că reactoarele rapide, al căror studiu a început încă din 1947, sînt realizate în prezent în patru ţări cu o soluţie similară în ceea ce priveşte agentul de răcire, şi anume sodiul. O oarecare diversitate se mai menţine în aranjarea circuitelor şi reîncărcarea cu combustibil, dar concepţia de ansamblu este foarte asemănătoare.

Apariţia centralelor nuclearoelectrice echipate cu reactoare rapide impune încă o dată necesitatea studierii condiţiilor de funcţionare pentru fiecare tip de centrală.

În afara regimului de funcţionare a viitoarelor centrale nuclearoelectrice, ameliorarea concepţiei tehnice a acestora este posibilă şi pe calea perfecţionării procedeelor de construcţie.

Creşterea în continuare a fiabilităţii centralelor nuclearoelectrice se poate asigura numai prin creşterea calităţii echipamentelor şi prin supravegherea atentă a funcţionării acestora. S-a subliniat necesitatea unui aranjament internaţional referitor la schimbul de date de exploatare a centralelor nuclearoelectrice.

Alte probleme referitoare la concepţia centralelor de acest tip se referă la necesitatea apropierii lor de marii consumatori industriali de energie electrică şi de căldură şi la avantajele coordonării planurilor de dezvoltare a centralelor nuclearoelectrice şi a amenajărilor hidrotehnice.

Într-o măsură mare a reţinut atenţia tema, propusă în raportul general, referitoare la perspectivele generatoarelor magnetohidrodinamice, deoarece acestea constituie singurul mod în care se mai poate ridica actualmente randamentul centralelor electrice, prin întrebuinţarea unei astfel de instalaţii ca ciclu înaintaş. Dezavantajul acestora constă în puterile mici realizate pînă în prezent.

Referitor la punerea în valoare a resurselor geotermice, unele intervenţii din partea delegaţilor ţărilor care dispun de astfel de resurse (Italia şi Indonezia), consacrate progreselor înregistrate în domeniul fotopilelor, au evidenţiat că în următorul deceniu acestea se vor răspîndi pe o scară tot mai largă. Astfel, s-a stabilit că fotopilele cu pături subţiri de CdS au perspective, în următorii ani, să depăşească fotopilele cu siliciu, singurele utilizate în prezent. S-a subliniat necesitatea producerii în serie a pilelor pentru a asigura scăderea costului lor.

S-a sugerat, totodată, un nou procedeu de conversie directă, care constă în descompunerea catalitică a apei, hidrogenul acumulat fiind utilizat drept combustibil.

Problema poluării, respectiv interesul pentru rezolvarea acestei probleme care datează de circa 40 de ani, s-a dovedit că se menţine în actualitate.

Referitor la poluarea prin efluenţi gazoşi, reţine atenţia faptul că este deosebit de importantă şi eficientă creşterea înălţimii coşurilor, în vederea dispersării compuşilor nocivi. În ceea ce priveşte reducerea poluării prin desulfurarea combustibililor energetici şi a gazelor de ardere, pare a fi unanim acceptată constatarea că estimările costurilor instalaţiilor care să realizeze acest lucru s-au dovedit a fi net inferioare celor realizate.

*Diviziunea 3*: **„Scheme şi instalaţii pentru utilizări complexe ale energiei în scopuri multiple"**, cu secţiile:

3.1. Principii generale sau concepţii de ansamblu care pot îmbunătăţi valorificarea energiei prin utilizare complexă
3.2. Utilizarea complexă a resurselor hidraulice
3.3. Utilizarea complexă a combustibililor clasici în industrie

3.4. Utilizarea complexă a combustibililor clasici în alte domenii

3.5. Utilizarea complexă a combustibililor clasici pentru alimentarea cu energie a centrelor populate noi sau în dezvoltare rapidă

3.6. Utilizarea complexă a energiei nucleare

Au fost prezentate 52 de rapoarte.

În şedinţele diviziunii, conduse de P. Wyart (Franţa), vicepreşedinţi fiind W. Fiszer (Polonia) şi V.I. Nitu (România), au luat cuvîntul 69 de participanţi.

Discuţiile s-au concentrat în principal asupra următoarelor teme :

— Direcţii de dezvoltare ale producerii combinate de energie electrică şi căldură şi consecinţele ei tehnice şi economice. S-a conturat, de asemenea, importanţa poluării ca factor ce trebuie avut în vedere la alegerea soluţiilor de alimentare cu căldură.

— Ameliorări posibile în industria siderurgică, în care reducerea consumului de cocs este încă în curs ; în această ramură industrială veche au loc mutaţii serioase în procesul tehnologic.

— Consecinţele combinării energetice a unor procese industriale diferite şi necesitatea de a analiza această problemă la nivelul ansamblului sistemului.

— Introducerea energiei nucleare în procese combinate de producţie şi dezvoltarea acestei posibilităţi pentru industrie, încălzire urbană şi desalinare.

— Alimentarea cu energie a noilor centre urbane.

— Recuperarea resurselor energetice şi, în special, a frigului la transportul gazelor combustibile lichefiate.

Ţinînd seamă de complexitatea şi particularitatea problemelor puse de alimentarea cu energie, în special a centrelor populate noi sau în curs de dezvoltare rapidă, fapt subliniat şi în diviziunea 1, s-a propus să se solicite Comitetului Executiv Internaţional examinarea posibilităţii de a forma un comitet ad-hoc pentru studiul acestei probleme.

Referitor la promovarea şi dezvoltarea la scară naţională a producerii combinate de energie electrică şi căldură în scopul principal al realizării de economii de combustibil, ameliorarea confortului urban, reducerea poluării atmosferei şi reducerea riscului în caz de incendiu în centrele populate, s-au făcut o serie de intervenţii.

Importanţa complexităţii calculelor de eficienţă economică a termoficării a fost subliniată de mai mulţi vorbitori.

Îmbunătăţirile ciclurilor centralelor de termoficare au fost obiectul mai multor intervenţii, care au arătat avantajele turbinelor cu gaze în circuit închis cu aer şi heliu.

O problemă interesantă au constituit-o importanţa şi perspectiva folosirii frigului rezultat din manipularea gazelor lichefiate sau din distilarea lor fracţionată, posibilităţile de valorificare a acestuia în vederea transportului sau în vederea unei distilări fracţionate cu ajutorul căreia să se reducă conţinutul de azot. Ideea de recuperare a frigului trebuie avută în vedere de la începutul unei decizii.

Problema cărbunelui şi a proceselor combinate din siderurgie a format şi ea obiectul unor intervenţii.

În legătură cu aplicarea surselor nucleare la procesele combinate, intervenţiile au reluat o serie de idei cuprinse în rapoarte, vizînd în special aplicaţiile combinate ale surselor nucleare în industrie.

Aspecte legate de siguranţa în funcţionare au vizat reactoarele, legat de necesitatea de a transmite căldură prin circuite intermediare şi de ideea că aplicarea reactoarelor pentru procese de „steam reforming" în siderurgie trebuie combinată cu folosirea unei surse de energie cu gaze, drept rezervă. Aplicarea surselor nucleare la gradul lor presupus de fiabilitate are implicaţii asupra infrastructurii energetice a industriei.

*Diviziunea 4* : **„Metode noi de calcul tehnic şi economic în scopul unei mai bune puneri în valoare a energiei"**, cu secţiile :

4.1. Metode noi privind prognoza evoluţiei consumului de energie

4.2. Metode pentru calculul unei mai bune utilizări a energiei

4.3. Criterii de evaluare a investiţiilor şi a cheltuielilor anuale şi metode de defalcare pe diferite utilizări

Au fost prezentate 55 de rapoarte. Raportorii generali, E. Pavel şi Th. Popa (România), au supus discuţiei principalele probleme prezentate în rapoarte.

Şedinţele tehnice au fost conduse, în lipsa preşedintelui A.M. Angelini (Italia), de vicepreşedinţii R. Răduleţ (România) şi N. Cahima (Japonia), totalizînd 59 de intervenţii.

În cursul discuţiilor s-a acordat o mare atenţie problemelor de prognoză şi de fiabilitate.

De asemenea, s-a mai arătat că au fost elaborate numeroase metode de calcul în scopul efectuării calculelor de optimizare. După cîteva aproximări, programarea liniară s-a afirmat ca un instrument de calcul foarte util, a cărui aplicare s-a generalizat.

Categoriile de probleme de optimizare sînt supuse unor diferenţieri puternic dependente de factorul timp.

Influenţa timpului se exercită într-un mod particular asupra parametrilor financiari. În acest caz a fost propusă şi utilizată în anumite calcule noţiunea de „monedă constantă", în baza căreia se aplică la calculul fiecărui preţ o derivată anuală.

Modelul matematic nu poate furniza în mod independent decizii-directive, în special pentru sisteme complexe supuse unor puternice legături economice și sociale. În plus, rezultatele sînt grevate de o doză de incertitudine, urmare a incertitudinii anumitor informații inițiale. Intervenția specialiștilor energeticieni devine astfel o necesitate.

Criteriile de optimizare au, în general, scopul de a minimiza costurile. Costurile marginale reprezintă o importantă bază economică pentru calculele de optimizare a sistemelor complexe.

Aceste cîteva observații sînt departe de a acoperi amplul domeniu al optimizărilor energetice, care se află în plină dezvoltare. Trebuie remarcat că studiile din acest domeniu mai au de parcurs un drum considerabil. În acest sens au fost citate cîteva subiecte, ca, de exeplu : similitudinea între model și sistem ; estimarea și compararea diferitelor tipuri de erori ; construcția rațională a modelelor în ceea ce privește informațiile inițiale și volumul de calcul necesar.

Comunicările prezentate și intervențiile pe marginea lor au dovedit că pot fi prevăzute perfecționări importante ale metodelor utilizate.

*Diviziunea 5* : **„Implicații economice și sociale ale îmbunătățirii utilizării energiei"**, cu secțiile :

5.1. În țările industrializate

5.2. În țările în curs de dezvoltare

Au fost prezentate 17 rapoarte. Raportorii generali, N. Gheorghiu și A. Schwefelberg (România), au supus discuției următoarele probleme :

— Dependența între dezvoltarea economică și socială și dezvoltarea consumului de energie.

— Rolul energiei electrice în ameliorarea randamentului utilizării resurselor energetice.

— Electrificarea ca criteriu de dezvoltare economică și socială.

— Electrificarea rurală ca factor de ameliorare a condițiilor sociale și economice.

— Rolul electrificării în planurile de dezvoltare a economiei naționale.

În ședința diviziunii, condusă de A.A. Bestcinski (U.R.S.S.), vicepreședinți fiind H.G. Guba (India) și I. Herescu (România), au luat cuvîntul 19 participanți.

Intervențiile s-au axat, în principal, asupra următoarelor probleme :

— Rolul motor al energiei electrice în dezvoltarea economică a țărilor industrializate și a celor în curs de dezvoltare.

— Influența nocivă a instalațiilor de producere și consum a energiei asupra mediului.

— Criterii de amplasare a unei mari instalații energetice, din punctul de vedere al influenței asupra mediului.

— Raționalizarea consumului de energie.

— Interdependența între creșterea consumului de energie și modificările în structura socială.

În cadrul discuțiilor s-a propus înființarea unui comitet însărcinat cu studiul problemelor puse de electrificarea rurală, care constituie un factor de ameliorare a condițiilor sociale și economice.

Ideile principale desprinse în cadrul discuțiilor purtate sînt următoarele :

— Energeticienii din toate țările sînt din ce în ce mai mult confruntați cu probleme economice generale și cu probleme majore de ordin social, care depășesc cu mult specialitatea acestei ramuri tehnice ; deciziile privind dezvoltarea producției de energie antrenează consecințe referitoare la o perioadă de perspectivă îndepărtată.

— Dintre toate formele de energie, energia electrică este cea care contribuie cel mai mult la dezvoltarea economică și socială, atît în țările industrializate cît și în cele în curs de dezvoltare.

— Problemei poluării mediului — sub toate aspectele ei și consecințele pe care le are asupra dezvoltării societății — trebuie să i se acorde o atenție deosebită în stabilirea soluțiilor pentru centrale termoelectrice.

**Ședința „Centrul de documentare energetică"**

Ședința Centrului de documentare energetică, prezidată de J. Couture (Franța), vicepreședinte fiind W. Carlson (S.U.A.), a pus în discuție căile de continuare și extindere a preocupărilor de organizare a documentării și informării în domeniul energiei, inițiate de comitetele naționale francez, englez și american.

Raportul prezentat de G. Nerot (Franța) a cuprins o trecere în revistă a activității desfășurate pînă în prezent în acest domeniu de Conferința Mondială a Energiei.

În cadrul discuțiilor s-au arătat realizările unor organizații internaționale, necesitatea de a coordona această activitate și de a asigura accesul utilizatorilor la informațiile existente. În concluziile prezentate de J. Couture s-a subliniat necesitatea de a se defini sfera informațiilor necesare despre energie și de a se crea o terminologie unitară, ca instrument obligatoriu pentru organizarea unei circulații corecte a informației.

S-a hotărît ca un grup de lucru compus din delegați ai mai multor țări să fie însărcinat cu definirea precisă și îndeplinirea sarcinilor în problema documentării în energie.

**Discuții la „mase rotunde"**

I. Masa rotundă pe tema „Transportul de mari cantități de căldură la mare distanță" a fost prezidată de S. Wetterundh (Suedia) și a

avut ca moderator pe I. D. Stăncescu (România). Dezbaterile s-au referit la :

— Transportul căldurii la distanţă folosind sistemul monotubular.

— Transportul căldurii la distanţă în condiţiile folosirii ca surse de căldură a centralelor nuclearoelectrice.

— Stocarea căldurii în sistemele de transport etc.

În concluziile dezbaterilor au fost subliniate interesul pentru tema supusă discuţiilor şi progresele tehnice obţinute în domeniul respectiv.

II. Masa rotundă pe tema „Energia şi mediul înconjurător" a fost prezidată de H. Tominoga (Japonia), moderator fiind R. Clark (Marea Britanie). Moderatorul a propus să fi discutate problemele :

— Poluarea aerului cu diverse noxe.

— Poluarea apelor prin infectare şi încălzire.

— Lupta împotriva poluării pe plan social şi umanitar.

Participanţii au manifestat un interes major pentru discuţiile purtate, care au constituit un schimb util de experienţă, un mijloc de a beneficia de o informare largă asupra rezultatelor tehnice, a măsurilor ce se recomandă pentru combaterea poluării.

**Ceremonia de închidere**

Ceremonia de închidere a avut loc la 2 iulie 1971 în sala Palatului Republicii Socialiste România. Deschizînd şedinţa, Walker Cisler, preşedintele Consiliului Executiv Internaţional, a elogiat activitatea desfăşurată în fruntea Conferinţei Mondiale a Energiei de P.S. Neporojnîi, ales preşedinte de onoare al acestei organizaţii, şi a dat citire rezoluţiei Consiliului Executiv Internaţional adresată guvernului şi poporului sovietic, prin care se exprimă compasiunea pentru moartea tragică a celor trei cosmonauţi de pe nava „Souiz-11".

P.S. Neporojnîi a mulţumit pentru condoleanţele prezentate şi a predat apoi prerogativele prezidenţiale noului preşedinte al Conferinţei Mondiale a Energiei, Octavian Groza, ales în această înaltă funcţie de Consiliul Executiv Internaţional.

Noul preşedinte, Octavian Groza, şi-a prezentat discursul inaugural şi a mulţumit celor care au contribuit la pregătirea şi desfăşurarea conferinţei de la Bucureşti.

A luat apoi cuvîntul Vasile Nitu, responsabilul Comisiei de rapoarte, care a înfăţişat bilanţul activităţii şedinţelor tehnice.

Eric Ruttley, secretar general al Conferinţei Mondiale a Energiei, a dat citire unei rezoluţii de mulţumiri pentru organizarea conferinţei de la Bucureşti. Rezoluţia a fost susţinută de reprezentanţii unor comitete naţionale, şi anume : M. Canepa (Argentina), N. Woodruff (S.U.A.), R. Marcovic (Iugoslavia), E. Zielinski (Polonia), precum şi de A. R. Cooper, preşedintele Conferinţei Internaţionale a Marilor Reţele Electrice (CIGRE).

Şedinţa a fost închisă de preşedintele Consiliului Executiv Internaţional, Walker Cisler.

*

Cea de-a VIII-a Conferinţă Mondială a Energiei, desfăşurată la Bucureşti, a prezentat un interes deosebit atît prin numărul mare de rapoarte şi discuţii, prin nivelul acestora, cît şi prin schimbul de experienţă direct realizat, la lucrările ei luînd parte mulţi dintre cei mai distinşi specialişti energeticieni din toate ţările lumii.

Participanţii la conferinţă au avut totodată ocazia să cunoască în mod nemijlocit o serie de importante realizări ale dezvoltării economice şi social-culturale a României, exprimîndu-şi admiraţia faţă de acestea.

Diviziunea 1

## „Cereri de energie: aspecte noi în dezvoltarea tehnică şi economică"

V. Antonescu şi Al. Mişu *)

Rapoartele prezentate şi luările de cuvînt din cadrul acestei diviziuni au fost grupate în următoarele secţii :

— Industrie

— Consumul casnic de energie

— Centre populate noi sau în dezvoltare rapidă

— Agricultură

— Alte domenii (transport, comerţ)

— Consumul total de energie

În legătură cu consumul de energie în industrie se constată, în majoritatea ţărilor, menţinerea unei strînse corelări între dezvoltarea industrială şi consumul de energie, ceea ce permite previziunea cu destul de mare precizie a evoluţiei consumului în industrie, în cazul în care creşterea producţiei industriale este deja stabilită.

Această situaţie a generat, în numeroase ţări, preocupări care au condus la stabilirea unor formule liniare sau de altă formă pentru calculul relaţiei între dezvoltarea producţiei industriale şi a consumului de energie.

*) Ing. Victor Antonescu este director adjunct al Direcţiei de dezvoltare şi investiţii din Ministerul Energiei Electrice ; ing. Alexandru Mişu este şef de serviciu în aceeaşi direcţie ; ambii au fost raportori generali la diviziunea 1.

Actualmente, consumul de energie în industrie continuă să aibă ponderea cea mai mare din consumul total de energie în țările industrializate, dar este de așteptat ca, în următoarele două sau trei decenii, această situație să se schimbe, datorită unui ritm de creștere mai ridicat al consumului de energie în alte sectoare. De altfel, în unele țări puternic industrializate ritmul de creștere a consumului de energie este inferior ritmului de creștere a producției globale industriale. Astfel, în S.U.A. această evoluție se reflectă în faptul că, deși consumul de energie în ultimul deceniu a crescut cu aproape 47 %, consumul de energie pe unitatea valorică de produs național global a scăzut în aceeași perioadă. De asemenea, în R.F. a Germaniei, creșterea anuală a cererii de energie în industrie a fost în perioada 1960–1969 de 2,5 %, față de o creștere de 5,8 % a producției de energie. Aceeași tendință se manifestă și în țări mai mici, ca, de exemplu, Belgia, unde ponderea consumului de energie în industrie în totalul consumului de energie a scăzut de la 80 % în 1949 la 70 % în 1969.

În unele țări se remarcă totuși o tendință opusă, și anume de creștere a consumului specific de energie în industrie, ale cărei cauze merită să formeze obiectul unor analize aprofundate.

Pe de altă parte, sînt de așteptat modificări importante ale structurii consumului de energie în industrie, atît în ceea ce privește formele energiei cerute, cît și consumul în diferitele ramuri industriale. În legătură cu aceasta se prevede o creștere continuă a ponderii energiei electrice, datorită în principal introducerii pe scară largă a unor tehnologii moderne, precum și a mecanizării și automatizării în procesele tehnologice.

În discuțiile pe această temă a fost subliniată, printre altele, oportunitatea unui sistem internațional unitar al indicilor de consum de energie, pentru a se putea elabora prognoze de consum bazate pe criterii corespunzătoare și a se urmări comparativ utilizarea rațională a consumurilor de energie în diferite ramuri industriale. Preocupări în această direcție există de cîțiva ani în R.P. Ungară și R.P. Polonă.

Dezvoltarea deosebit de rapidă a industriei, cum este cazul industriei românești, are consecințe directe asupra alimentării cu energie și îndeosebi cu energie electrică a consumatorilor. Astfel, în țara noastră concentrația pronunțată a consumului în zone industriale, cu densități mari de sarcină, a determinat, în unele cazuri, pătrunderea cu tensiunea de 220 kV la consumatori și alimentarea acestora prin transformare directă la tensiunea de distribuție sau chiar de utilizare.

O altă consecință a procesului de industrializare o constituie sensibilitatea mărită pe care o prezintă unele procese tehnologice moderne față de parametrii energiei electrice. Ca urmare, capătă o importanță deosebită cunoașterea și analizarea caracteristicilor modului în care consumatorul urmează să fie racordat la sistem, înainte de a se alege echipamentele tehnologice.

Totodată, efectele economice ale întreruperilor alimentării cu energie electrică au devenit atît de supărătoare, încît în momentul alegerii utilajului tehnologic apare necesară cunoașterea posibilităților de asigurare a continuității de alimentare, precum și a eventualelor pagube ce pot fi provocate.

Unele probleme speciale privind consumul de energie în diferite ramuri industriale au constituit obiectul cîtorva rapoarte și luări de cuvînt. Printre acestea sînt de menționat eforturile care se fac în domeniul siderurgiei pentru reducerea consumului de energie prin micșorarea consumului de cocs metalurgic. Rezultatele acestor preocupări au o importanță deosebită, mai ales în țările cu o producție mare de fontă și cu resurse reduse de energie primară, cum este, de exemplu, Japonia. În această țară, peste 50 % din consumul total de energie în siderurgie revine fabricației de fontă. Din acest consum, cocsul metalurgic reprezintă aproape 90 %. În prezent se urmărește reducerea consumului de cocs, în cadrul aplicării procedeelor tehnice convenționale, prin : dozarea judicioasă a minereului de fier, folosirea aglomeratelor autofuzibile, injectare de motorină, suflare de aer supraoxigenat și supraîncălzit, exploatare la înaltă presiune.

Pentru viitor se studiază aplicarea unor tehnici noi, ca, de exemplu, prepararea gazului reductor într-un reactor de înaltă temperatură.

Un alt domeniu al consumului de energie în industrie, care stă în atenția energeticienilor, este acela al folosirii energiei electrice în aplicațiile electrotermice. Anchetele efectuate în unele țări au indicat în perioada 1962–1966 o creștere importantă a consumului de energie în procesele electrotermice, cuprinsă între 11 și 40 %. Ponderea consumului industrial de energie electrică folosită în procese electrotermice ajunge pînă la 25 % din totalul consumului industrial de energie electrică.

Consumul casnic de energie prezintă în majoritatea țărilor o tendință continuă de creștere rapidă. Energia electrică intervine cu o pondere crescîndă în acoperirea consumului casnic de energie, datorită introducerii pe scară largă în gospodării a unei game variate de aparate electrocasnice.

În cazul țării noastre, consumul casnic de energie a prezentat o creștere medie de 5 % în perioada 1960–1969, iar consumul casnic de energie electrică o creștere medie de 18,3 %. În R.F. a Germaniei se constată că sectorul casnic este cel mai mare consumator de energie finală, în 1969 cota sa din consumul total fiind de 41 %, mai

mult decît a industriei (40 %) şi a transporturilor (19 %).

Procesul de urbanizare, care se manifestă în toate ţările, are un efect puternic asupra consumului de energie, după cum s-a accentuat în cadrul discuţiilor cu privire la acest subiect. De asemenea, au apărut soluţii noi în alimentarea cu energie electrică pentru uz casnic, ca, de exemplu, folosirea unui material refractar nou pentru încălzirea electrică prin acumulare. Acest material, denumit Feolite, permite reducerea volumului instalaţiei de acumulare cu 25 % faţă de cele mai bune soluţii aplicate pînă în prezent.

Centrele populate noi sau în dezvoltare rapidă pun importante probleme în alimentarea lor cu energie. Din rapoarte a reieşit amploarea acestora, precum şi diversitatea modurilor de tratare şi rezolvare în diferite ţări.

Alimentarea cu energie a oraşelor poate fi tratată în ansamblu, pe bază de modele matematice de programare liniară sau pe bază de studii analitice, limitînd numărul variantelor de purtători de energie şi pornind de la configuraţii probabile ale viitoarelor oraşe.

În cadrul dezbaterilor s-au exprimat puncte de vedere diferite; astfel, referitor la metodele de soluţionare s-a constatat opoziţia între metodele „exacte'' şi cele „empirice''. După unii, o optimizare este posibilă şi necesară din punctul de vedere al societăţii, elaborîndu-se modele matematice corespunzătoare; după alţii, ţinînd seamă de incertitudinea datelor de intrare, calculele matematice prezintă riscul unor erori finale mai mari decît în cazul soluţiilor empirice.

A fost relevată importanţa problemei poluării, urmînd a se ţine seamă de caracterul nepoluant al unor forme de energie, cum sînt gazele naturale şi energia electrică.

În ceea ce priveşte căile de soluţionare a alimentării cu căldură a centrelor urbane, s-a constatat competiţia între producerea combinată de energie electrică şi căldură, încălzirea centralizată şi încălzirea individuală. Alimentarea totală cu energie electrică apare ca o soluţie care corespunde necesităţilor şi exigenţelor viitoare.

În legătură cu alimentarea cu energie electrică a oraşelor, este de reţinut tendinţa modernă de folosire a staţiilor de transformare miniaturizate. Astfel, în oraşul Tokio au fost realizate posturi de 66, 154 şi 275 kV, iar în 1970 a început realizarea unui prototip de 500 kV, care urmează a fi dat în exploatare în anul 1974. Soluţia este adoptată sau în studiu şi în alte ţări, pentru oraşele în care problemele de disponibilităţi ale terenurilor de construcţie sînt stringente. Rezultatele de pînă acum permit să se prevadă o dezvoltare rapidă a acestor soluţii şi pentru tensiuni foarte ridicate.

În agricultură, consumul de energie a fost tratat, în rapoarte şi discuţii, exclusiv ca un consum de energie electrică. Se constată că ritmul mediu de creştere a consumului de energie electrică în agricultură este mai coborît decît cel al creşterii consumului total. Introducerea electrificării urmăreşte mărirea productivităţii şi a cîştigurilor realizate în exploatările agricole.

În cadrul discuţiilor au fost evidenţiate particularităţi ale consumului de energie în agricultura diferitelor ţări. Astfel, în ţara noastră acest consum a crescut în ultimii zece ani cu un ritm mediu anual de 15,7 %, reprezentînd 2,1 % din consumul total de energie electrică. Pentru următorii zece ani, această pondere va reprezenta însă 6 %; aproape jumătate din consum va reveni staţiilor de pompare pentru sistemele de irigaţii, iar puterea simultană necesară va reprezenta 10—15 % din sarcina maximă totală. Pentru aceste condiţii viitoare, regimul de funcţionare al consumatorilor de energie electrică din agricultură are influenţe sensibile asupra curbelor de sarcină, apărînd tendinţa ca puterile maxime de vară să le egaleze pe cele de iarnă, ceea ce conduce la necesitatea de a avea o rezervă mărită de putere în sistem pentru reparaţiile planificate.

Consumul de energie în alte domenii (transport, comerţ) a fost examinat în special pentru căile ferate şi pentru transporturile în comun. Aşa cum este evidenţiat în două rapoarte, pentru U.R.S.S. şi R.F. a Germaniei se constată o scădere a consumului de energie, deşi volumul transporturilor a crescut. Aceasta se datorează trecerii de la tracţiunea cu abur la tracţiunea Diesel şi electrică, ceea ce a condus şi la importante modificări structurale ale energiei utilizate pentru căile ferate.

În cadrul discuţiilor, s-a amintit, printre altele, problema preliminării consumului de energie pentru tracţiune. S-a subliniat importanţa unei evaluări corecte a consumului viitor de energie. Pot fi folosite cu bune rezultate datele statistice, corectate cu un factor prin care se iau în considerare toate influenţele esenţiale modificatoare faţă de anii precedenţi consideraţi.

Pentru ţara noastră au fost subliniate preocupările actuale: în viitorii cinci ani vor mai fi electrificate 800 km linii de cale ferată; tracţiunea electrică constituie un consumator important de energie de noapte; se anulează o sursă importantă de poluare. De aici rezultă necesitatea stimulării acestui consumator prin tarife speciale şi a examinării rentabilităţii tracţiunii electrice.

S-a accentuat importanţa pentru viitor a vehiculelor pentru transportul în comun nepoluante, cum ar fi metroul şi automobilul electric. Cum, deocamdată, pentru autobuze electrice de mare capacitate nu se întrevede o utilizare operaţională în viitorul apropiat, pentru transporturile în consum în marile oraşe trebuie

dezvoltate, sub diverse forme, mijloacele de transport tip metrou. Un alt aspect interesant în acest domeniu este utilizarea gazelor naturale lichefiate drept combustibil, în transportul urban. Prin folosirea gazelor lichefiate distanţa de transport se poate extinde la 200 km, faţă de numai 100 km în cazul gazelor naturale comprimate.

Consumul total de energie a constituit unul din subiectele care au stîrnit cel mai mare interes, ceea ce s-a oglindit atît în rapoartele prezentate, cît şi în discuţii.

Consumul de energie este în continuă creştere şi nu se constată în nici o ţară din lume un fenomen de saturaţie. Ca exemplu se poate cita că în S.U.A. consumul de energie a înregistrat între 1960 şi 1969 o creştere totală de 46,9 %, ceea ce reprezintă cea mai rapidă creştere într-un deceniu, de la începutul secolului.

Dintre diversele forme de energie, consumul de energie electrică a crescut mai accentuat decît ansamblul consumului de energie.

Dezvoltarea anumitor surse de energie, mai ales a hidrocarburilor, şi preocupările privind evitarea poluării au condus la modificări ale structurii surselor, în sensul utilizării intense a gazelor şi a produselor petroliere cu conţinut redus de sulf. Utilizarea în viitor a energiei nucleare va putea interveni şi ea ca un element de reducere a poluării.

Au fost, de asemenea, accentuate implicaţiile majore generate de problemele consumului de energie pentru ţările în curs de dezvoltare, ţinînd seamă de importanţa mijloacelor financiare necesare.

Discuţiile în legătură cu consumul total de energie s-au referit în special la două aspecte : relaţia consumului de energie cu produsul naţional brut şi evoluţia nivelului şi structurii consumului de energie. Astfel, pentru S.U.A. se constată o creştere mai rapidă a consumului de energie decît a produsului naţional brut ; descreşterea raportului între consumul de energie şi produsul naţional brut nu s-a făcut continuu, ci a marcat o oarecare creştere în ultimii trei ani. Aceasta s-ar putea explica prin dozã cauze : creşterea mai rapidă a consumului de energie electrică faţă de creşterea consumului total de energie şi atingerea unei plafonări în ceea ce priveşte randamentul centralelor electrice. Fenomenul pus în evidenţă pentru S.U.A. s-a constatat şi pentru alte ţări, ca, de exemplu, R.F. a Germaniei.

Evoluţia viitoare a consumului de energie şi a modificărilor în structura acesteia a constituit şi ea obiectul unor interesante contribuţii. Extrapolînd, la nivel mondial, pînă în anul 2000, evoluţia consumului total de energie primară şi a consumului de energie electrică, se constată că, faţă de nivelul anual al consumului total de energie din 1970 de circa 7 miliarde tone combustibil convenţional, valoarea preliminată pentru anul 2000 este de 25 miliarde tone combustibil convenţional (o creştere de 3,5 ori). Consumul de energie electrică este preliminat să crească de la circa 5000 miliarde kWh în 1970 la 38 000 miliarde kWh (de 7,5 ori). În consecinţă, ponderea consumului de energie electrică în consumul total de energie va evolua de la 23 %, cît este în prezent, la 50 % peste 30 ani. Ţinînd seamă de faptul că hidrocarburile nu pot face faţă decît pentru relativ puţină vreme, viitorul producerii energiei electrice aparţine centralelor nuclearoelectrice, care, datorită reactoarelor reproducătoare, reprezintă singura soluţie la scara nevoilor mondiale. Combustibilii clasici vor fi substituiţi treptat de combustibilii nucleari, cu atît mai mult cu cît primii constituie o materie primă foarte importantă pentru industria chimică.

Pentru ţara noastră, consumul specific total de energie a crescut în ultimii 20 de ani de 4,1 ori, iar structura a suferit modificări adaptate ritmului şi eforturilor financiare necesare în diferite perioade. În domeniul hidrocarburilor, ponderea ţiţeiului şi a gazelor naturale a suferit în perioada 1960–1970 o inversare (în 1950 : 48,7 % ţiţei şi 26,9 % gaze naturale, iar în 1970 33,4 % ţiţei şi 43 % gaze naturale), ponderea cărbunilor crescînd de la 11,70 % în anul 1960 la 17,7 % în 1970. În perspectiva următorilor zece ani va fi necesară sporirea substanţială a producţiei de cărbune (25,7 % din consumul de energie primară în 1980). De asemenea, este necesar să apară centralele nucleare. Dată fiind ponderea importantă în viitor a consumului de energie electrică în consumul total de energie, optimizarea structurii centralelor electrice trebuie să rezulte din structura balanţei combustibililor.

Diviziunea 2

# „Procese noi sau progrese cu caracter general privind ameliorarea proceselor separate de producere, de transport, de transformare și de consum"

C. Burducea și
C. Budeanu *)

Rapoartele prezentate și discuțiile purtate în cadrul celei de-a doua diviziuni au analizat în special probleme privind posibilitățile de îmbunătățire a proceselor de producere, transport, transformare și consum de energie, aducînd contribuții valoroase la cristalizarea unor idei în legătură cu valorificarea cît mai eficientă a resurselor energetice de care dispune planeta noastră. Îmbunătățirea proceselor separate de producere, de transport, de transformare și de consum al energiei reprezintă efortul omenirii pentru a-și asigura dezvoltarea prin folosirea rațională și avantajoasă a resurselor energetice.

Autorii rapoartelor au urmărit tratarea unor aspecte principale, căutînd în general încadrarea într-una din cele cinci secții ale diviziunii. Cîteva rapoarte au tratat subiecte mai largi și din acest motiv au fost luate în considerare în cuprinsul mai multor secțiuni.

Rapoartele secției 2.1. — Considerații economice și concepția generală — au îmbrățișat un domeniu larg de probleme, a căror sistematizare a evidențiat următoarele idei directoare:

— Fixarea unor criterii care să servească la determinarea structurii optime a puterilor de instalat în sistemele energetice, preocupările existente deja în numeroase țări subliniind importanța influenței soluționării corespunzătoare a acestei probleme asupra concepției de dezvoltare în ansamblu a sistemului energetic, ca și asupra industriilor care participă la realizarea echipamentelor necesare. Modelul francez propus de optimizare a costului total actualizat, în care sistemul producție-consum este analizat atît la nivel național cît și la scara unităților regionale, permite asigurarea cu prevederea realizării celor mai indicate echipamente energetice și centrale electrice. De asemenea, determinarea corectă a structurii puterilor de instalat în diverse tipuri de centrale, luîndu-se în considerare și felul participării la acoperirea curbei de sarcină și evoluția tipurilor de combustibil, influențează atît asupra dezvoltării energeticii cît și a cercetării care trebuie să preceadă.

— Stabilirea unor puteri unitare ale centralelor, raționale ca mărime, prin care să se valorifice avantajele economice în condițiile specifice ale amplasamentelor posibile. În legătură cu aceasta s-a manifestat preocuparea pentru creșterea puterii unitare a agregatelor, ținîndu-se seamă de optimizarea parametrilor inițiali ai aburului, ca și a celor ai părții reci ai ciclului. Problemele care se pun în legătură cu dezvoltarea grupurilor de mare putere privesc posibilitatea încadrării în sistemul energetic, posibilitatea funcționării la sarcini variabile cu opriri și porniri dese, evitarea poluării mediului înconjurător, asigurarea debitelor necesare de apă de răcire, posibilitatea de fabricare și de producere a unor echipamente de fiabilitate ridicată. Evoluția generală a sistemului energetic indică, însă, creșterea în continuare a puterii unitare a grupurilor. Analiza sistematică și aprofundată a fiabilității și a disponibilității unităților de mare putere și a echipamentului auxiliar din centralele electrice va contribui, prin măsuri tehnice luate în concepția, în fabricarea și în exploatarea echipamentelor, la creșterea gradului de siguranță în alimentarea consumatorilor de energie și la folosirea economică a combustibililor. Mărirea randamentului centralelor electrice a fost evidențiată și prin sublinierea avantajelor tehnice și economice ale instalațiilor de mare putere cu ciclu combinat abur-gaze, realizate recent în cîteva țări puternic dezvoltate industrial.

— Reducerea influențelor negative ale efluenților centralelor termoelectrice asupra mediului ambiant, ca apa caldă din instalațiile de răcire sau cenușa evacuată în atmosferă împreună cu gazele de ardere de la cazanele de abur. În ceea ce privește limitarea poluării atmosferei, se pare că este un consens unanim ca pentru centralele cu cărbune să se folosească coșuri înalte și în număr cît mai redus la o aceeași centrală, viteza gazelor la ieșirea din coș suficient de ridicată, filtre electrostatice perfecționate, funcționarea cazanelor de abur cu exces mic de aer. Problema reducerii conținutului de sulf din cărbune și desulfurarea gazelor de ardere (la cărbune și la păcură) nu și-au găsit rezolvarea corespunzătoare, unele procedee aflate în stadiul de cercetare pentru desulfurarea gazelor acuzînd costuri importante și influențînd defavorabil dispersia în atmosferă prin răcirea coloanei de gaze. Problema poluării prin încălzirea neadmisibilă a apei de răcire în centralele electrice a găsit cîteva soluții (circuit închis) cu influențe defavorabile, însă, asupra costului de investiții și de producere a energiei electrice. Problema poluării mediului înconjurător al centralelor electrice preocupă în mod deosebit pe producătorii de electricitate, deoarece fondul general de poluare crește în permanență în țările industriale, reprezentînd un pericol atît pentru populație cît și pentru plante și animale.

— Dezvoltarea permanentă a sistemelor electroenergetice din punctul de vedere al nivelului

*) Dr. ing. Corneliu Burducea este director tehnic la ISPE; ing. Constantin Budeanu este director adjunct la ISPH.

de tensiuni, al lungimii liniilor de transport, al puterilor transportate. Este de reținut preocuparea pentru realizarea unei siguranțe corespunzătoare în funcționarea sistemelor energetice, folosindu-se pentru aceasta mijloace moderne de calcul și de investigație cu care să se poată cerceta cu precădere posibilitățile de avarii în scopul reducerii influenței acestora asupra economiei țării respective. Odată cu dezvoltarea sistemelor electroenergetice se impun cerințe sporite industriei de aparate în special din punctul de vedere al asigurării puterii de rupere cît și al nivelului de izolație cerut.

În cadrul secției 2.2. — Energia hidraulică — au fost cuprinse probleme referitoare la progresele înregistrate și tendințele ce se conturează în domeniul amenajărilor hidroelectrice. Cele 14 rapoarte și discuțiile purtate au atacat o tematică foarte variată : descrierea unor amenajări hidroelectrice gravitaționale, unele probleme de echipamente ale centralelor hidroelectrice clasice, modificarea artificială a regimului precipitațiilor, aspecte legate de dezvoltarea uzinelor cu acumulare prin pompaj, perspectivele uzinelor maremotrice.

Printre amenajările prezentate se menționează UHE Oymapinar (Turcia), Portage Mountain (Canada) și extinderea UHE Grand Coulee (S.U.A.) pînă la 7200 MW.

În raportul 2.2. — 15 se arată influența progresului tehnic în concepția de amenajare și în exploatarea centralelor de pe sectorul austriac al Dunării, pe care în prezent sînt patru centrale în funcțiune și una în construcție. În raportul 2.2. — 221 se prezintă influența progresului tehnic asupra concepției de amenajare a resurselor hidroelectrice ale României.

Atît în aceste rapoarte, cît și în alte două cu specific pur hidromecanic, precum și în una din temele puse în discuție de raportorii generali, s-a dezbătut amplu problema echipamentului centralelor hidroelectrice gravitaționale. Se constată, astfel, tendința de a realiza turbine hidraulice de mare putere cu rapiditate sporită. Rezultatele obținute în exploatarea turbinelor axiale (bulb) au fost prezentate ca satisfăcătoare și apreciate favorabil.

În discuții s-au prezentat, de asemenea, metodele moderne de comandă a cascadelor de centrale hidroelectrice.

În raportul 2.2. — 197 (S.U.A.) s-au prezentat cercetările pentru modificarea regimului precipitațiilor folosind iodura de argint, sperîndu-se ca, pînă în 1980, prin aplicarea acestei metode să se poată mări producția de energie electrică.

Centralele hidroelectrice cu acumulare prin pompaj tind să capete o importanță crescîndă în acoperirea zonei de vîrf a curbelor de sarcină. Interesul pentru aceste amenajări apare atît din partea țărilor cu experiență și realizări în acest domeniu, cît și din partea celor care sînt în faza incipientă a dezvoltării pompajului.

Raportul 2.2. — 67 (Italia) a prezentat o privire de ansamblu asupra realizărilor și perspectivelor uzinelor de pompaj din Italia, precum și problemele actuale generale legate de sistemul energetic, de soluțiile și de echipamentul acestor centrale.

Raportul 2.2. — 169 (Japonia) a arătat realizările și perspectivele pompajului în această țară și preocuparea pentru introducerea grupurilor reversibile de tip turbină-pompă și diagonale (Deriaz).

În raportul 2.2. — 65 (Polonia) s-au arătat trăsăturile caracteristice, tehnice și economice, care determină construirea de uzine de pompaj, în special legate de mari lacuri de acumulare, iar în alt raport (2.2. — 31) s-au indicat datele specifice uzinei de pompaj Dalešice din R.S. Cehoslovacă, de 414, 8 MW.

Rapoartele și discuțiile purtate au confirmat tendința de a realiza uzine de pompaj de putere tot mai mare, echipate cu grupuri unitare reversibile, de mare putere și pentru căderi tot mai ridicate. Căderea are o mare importanță în economicitatea generală a uzinei de pompaj. Amplasarea corespunzătoare a centralelor de pompaj poate avea efecte favorabile și asupra cascadelor de uzine pe firul apei din aval, cărora le ridică puterea asigurată și producția de energie electrică, după cum a rezultat dintr-un caz prezentat din Austria.

În alegerea echipamentului principal (cu trei mașini sau cu agregate reversibile), pe lîngă considerente economice trebuie să se țină seamă și de timpul necesar schimbării regimului de funcționare (pompare, turbinare, compensator sincron). Extinderea uzinei de pompaj Vianden se face cu un grup reversibil de 200 MW, la care pornirea se va realiza în asincron, cu coborîre de tensiune.

Problemele centralelor maremotrice au fost prezentate în două rapoarte din Canada, care se referă la proiectul Fundy (2176 MW sau 3436 MW), în care amplitudinea maximă a mareelor atinge 16 m. Scumpirea combustibililor fosili a determinat reexaminarea acestui proiect în Canada. Reducerea investiției însemnate a acestei centrale se preconizează prin îndepărtarea centralei de ocean, folosirea pompajului pentru umplerea bazinului, utilizarea chesoanelor pentru construcție. Interesul manifestat pentru aceste centrale se datorează faptului că ele nu poluează mediul, iar producția este previzibilă cu un grad ridicat de certitudine.

*

Probleme actuale ale hidroenergeticii au fost tratate și în unele secții ale altor diviziuni.

Astfel, în secția 3.2. au fost cuprinse rapoartele referitoare la utilizarea complexă a resurselor hidraulice.

Într-o serie de rapoarte se prezintă programe unitare, coordonate la scara economiei naționale, referitoare la utilizarea multilaterală a apelor (U.R.S.S., Japonia, Italia, România) sau pe mari arii geografice (bazinul fluviului Columbia, în S.U.A.).

Astfel, în U.R.S.S., potențialul economic amenajabil, de 1100 TWh, se prevede a fi utilizat complex, asigurîndu-se apa pentru irigarea a 21 000 km$^2$, alimentările cu apă potabilă și industrială, dezvoltarea și îmbunătățirea condițiilor de navigație, atenuarea viiturilor etc. Satisfacerea tuturor acestor cerințe necesită derivarea unor volume importante de apă a fluviilor nordice din partea europeană și asiatică a U.R.S.S. în bazinul Volga și în zona M. Aral — M. Caspică.

În Italia, preocupările sînt axate pe folosirea preponderentă a apei pentru producerea de energie electrică și irigații. În această țară, ca și în Japonia, se constată preocuparea pentru reamenajarea rîurilor, realizarea de mari acumulări în care să se concentreze și debitele rîurilor învecinate, combinarea schemelor gravitaționale de uzine hidroelectrice cu uzine de pompaj pur sau adițional, care pe lîngă energie electrică să asigure și cerințele de apă ale altor ramuri ale economiilor naționale. O deosebită atenție se acordă efectului energetic și complex al uzinelor de pompaj intercalate judicios în schemele de amenajare a rîurilor. Astfel, în raportul 3.2. — 56 se descrie o amenajare care derivează 33 m$^3$/s din bazinul Tajo în bazinul Segura (Spania), folosindu-se pentru pompare agregate reversibile care pot fi utilizate și pentru producerea de energie electrică.

În unele rapoarte se prezintă utilizarea complexă a unor amenajări, ca SHEN Porțile de Fier (România-Iugoslavia), cascada de pe rîul Vah (Cehoslovacia), sistemul fluvial Dunăre-Inn (Austria).

În raportul 3.2. — 195 se înfățișează proiectul Keowee-Toxaway (S.U.A.), care permite obținerea unei puteri de 140 MW în uzina legată de acumulare, 610 MW într-o uzină de pompaj avînd ca bazin inferior acumularea și care servește totodată pentru asigurarea apei de răcire a 7 000 MW în CTE și CNE de perspectivă. Răcirea apei prin folosirea oglinzii lacului conduce la pierderi de apă mai mici decît cea prin turnuri de răcire.

În Austria (3.2. — 13) se studiază asigurarea apei de răcire a CNE prin acumulările hidrocentralelor și influența CTE asupra înghețării rîurilor iarna. Totodată, însă, pentru a împiedica poluarea termică a rîurilor se recomandă utilizarea turnurilor de răcire.

În raportul 3.2. — 180 se prezintă o soluție tehnică originală privind amenajarea hidroenergetică a unui rîu din Iugoslavia, care străbate o regiune carstică și a permis, pe lîngă producerea de energie electrică, desecarea unei zone fertile și asigurarea cerințelor de apă ale unei regiuni deficitare.

În secția 4.3. sau prezentat metodele și criteriile de repartizare a investițiilor și a cheltuielilor anuale pentru diferiți beneficiari și în cazul amenajărilor hidroelectrice complexe.

În raportul 4.3. — 232 (România) s-a arătat că, datorită creșterii cerințelor de apă și epuizării treptate a amplasamentelor celor mai avantajoase, apare imperios necesară realizarea de amenajări complexe. Eficiența economică a acestora, pe ansamblu, este superioară soluțiilor independente pentru fiecare folosință în parte. Două metode de repartiție a cheltuielilor, folosite în Japonia, sînt prezentate în raportul 4.3.—164.

O sinteză a principalelor probleme puse de realizarea amenajărilor hidroelectrice complexe apare în raportul 4.2. — 150 (Elveția).

Din discuții a rezultat că repartiția cheltuielilor amenajărilor complexe între folosințele beneficiare se face după criterii diferite, justificate prin stabilirea modului de evaluare a valorii apei și energiei.

Diferite aspecte particulare ale hidroenergeticii au fost tratate și în alte secții, referindu-se în special la coordonarea puterii hidraulice și termice a unui sistem (4.2. — 40, Mexic), optimizarea exploatării cascadelor de centrale cu lacuri de acumulare (4.2. — 109, U.R.S.S.), exploatarea lacurilor de acumulare (4.2. — 181, Iugoslavia), planificarea producției centralelor hidroelectrice (4.2. — 204, Bulgaria) ș.a. Toate acestea oglindesc preocuparea permanentă existentă pe plan mondial pentru îmbunătățirea metodelor de calcul în vederea utilizării mai bune a energiei.

*

Secția 2.3. — Combustibili clasici — a cuprins un număr mare de rapoarte și probleme.

Consumul de combustibili clasici este în continuă creștere, deși energia nucleară a intrat într-un stadiu de dezvoltare industrială. Combustibilii fosili sînt confruntați cu numeroase probleme, ca: reducerea conținutului de sulf pentru limitarea poluării mediului înconjurător, transportul la mari distanțe în condiții avantajoase, creșterea randamentului extracției cărbunilor, crearea condițiilor economice avantajoase pentru cocsul destinat siderurgiei, exploatarea zăcămintelor de petrol în zone geografice cu climă foarte aspră, ritmul crescînd de extracție a gazelor naturale, stocarea gazelor naturale.

În unele țări punerea în valoare a rezervelor de cărbune inferior a determinat o creștere importantă a dotării industriei carbonifere pentru ca acest fel de cărbune să devină accesibil din punctul de vedere economic pentru o largă folosire în economiile țărilor respective.

Dezvoltarea producției de petrol și de gaze a determinat o reconsiderare tehnică și economică a extracției de cărbune pentru a reduce costul tonei produse prin forțarea progresului

tehnic mai rapid în acest domeniu. Căile folosite pentru aceasta au fost : concentrarea producţiei în mine avînd mari rezerve de cărbune şi mai uşor exploatabile, dezvoltarea şi modernizarea extracţiei şi extinderea suprafeţelor minelor exploatate la zi, acolo unde aceasta poate fi avantajoasă economic.

Folosirea cărbunelui în industria metalurgică, adică a cocsului în furnalele înalte, presupune existenţa unor cantităţi suficiente de cărbune cocsificabil, deşi aceasta nu reprezintă soluţia definitivă. Pentru a putea înlocui cărbunii cocsificabili cu cărbuni de calitate mai slabă, se fac cercetări cu diverşi aditivi care prin introducerea în cărbunii inferiori să asigure obţinerea unui amestec cocsificabil. Este, de asemenea, interesantă în acest sens preocuparea de a reduce consumul de cocs în furnalele înalte, prin introducerea şi a altor combustibili, ca păcura şi gazul metan.

Îmbunătăţirea calităţii cărbunilor prin preparare măreşte valoarea lor energetică şi, ceea ce este de asemenea important, poate asigura reducerea conţinutului de sulf şi, ca urmare, reducerea poluării mediului înconjurător al centralelor electrice.

Transformarea industrială a cărbunilor inferiori prin amestecare şi compactare cu diverse produse combustibile, folosirea elementelor combustibile provenind de la gazificarea cărbunelui în instalaţii energetice evoluate, cum ar fi acelea cu ciclu abur-gaze, perfecţionarea instalaţiilor de măcinare şi de ardere (mori şi cazane de abur), astfel încît randamentul folosirii cărbunelui în aceste instalaţii să fie maxim, reprezintă posibilităţi de valorificare superioară a potenţialului energetic al acestor combustibili.

Folosirea, în unele ţări, în mari cantităţi a combustibililor gazoşi a pus anumite probleme privind transportul acestora la mari distanţe fie prin conducte, fie sub formă lichidă, ca şi omogenizarea calităţii lor, astfel încît folosirea gazelor combustibile provenind din surse diferite să fie posibilă în aceeaşi reţea de consumatori.

Desulfurarea combustibililor lichizi va uşura implicaţiile grave datorită poluării mediului de către centralele electrice. În cazul ţiţeiului, desulfurarea este realizabilă chiar în procesul de rafinare, putîndu-se reduce conţinutul de sulf cu aproximativ 2% în condiţii de cost acceptabile.

Rapoartele secţiei 2.4. — Energia nucleară — au scos în evidenţă ritmul important de dezvoltare a centralelor nucleare, uraniul, plutoniul şi thoriul reprezentînd surse de energie capabile să asigure o parte substanţială din nevoile de consum ale omenirii. Dacă actualmente nu se mai pune problema oportunităţii folosirii centralelor nucleare, locul acestora ca sursă generatoare de energie fiind deja cîştigat în energetică, problema utilizării intense a potenţialului energetic al combustibililor nucleari a determinat apariţia a numeroase tipuri de reactoare, ca şi dezvoltarea cercetărilor pentru ciclul de combustibili, care este decisiv în legătură cu definirea programelor nucleare raţionale.

Exigenţele producătorilor de electricitate, care au crescut în ceea ce priveşte disponbilitatea de funcţionare a centralelor nucleare, şi, de asemenea, luarea în considerare, prin concepţia acestor obiective, a unor grade mărite de securitate nucleară, au condus la realizarea unor instalaţii comparabile ca disponibilitate şi economicitate cu cele convenţionale şi suficient de sigure în funcţionare pentru mediul înconjurător.

Perfecţionarea ciclului de combustibili a determinat apropierea trecerii la faza industrială a reactoarelor rapide reproducătoare.

Necesitatea de a asigura combustibilul nuclear a determinat extinderea prospecţiunilor geologice în multe ţări, ca şi dezvoltarea cercetării unor instalaţii de îmbogăţire care să fie mai avantajoase economic şi mai accesibile decît acelea care folosesc procedeul difuziei gazoase.

Punerea în valoare a rezervelor de minereu de uraniu este determinată de considerente economice de ansamblu, industria nucleară făcînd apel la importante eforturi financiare.

Dintre tipurile de reactoare dezvoltate industrial, reactoarele cu uraniu îmbogăţit au obţinut o apreciabilă experienţă de exploatare, pe baza căreia au fost introduse în continuare îmbunătăţiri atît în ceea ce priveşte performanţele economice, cît şi nivelul de fiabilitate. Dezvoltarea pe scară industrială a acestui tip de reactor influenţează deja balanţa energetică în unele ţări, impunînd prin aceasta preocupări permanente pentru perfecţionarea concepţiei şi a fabricaţiei echipamentelor respective.

Pentru dezvoltarea reactoarelor nucleare ale viitorului apropiat, cele rapide reproducătoare, sînt în desfăşurare programe de cercetări şi se cheltuiesc fonduri apreciabile. Problemele economice aferente preţului de cost încă ridicat al combustibilului nou produs în aceste reactoare, ca şi problemele tehnologice specifice, sînt în curs de soluţionare, făcînd posibilă introducerea, începînd probabil din 1980, în energetica ţărilor dezvoltate, a acestor instalaţii care folosesc mai intensiv potenţialul combustibilului nuclear.

În cadrul discuţiilor au fost evidenţiate îmbunătăţiri în tehnica reactoarelor nucleare şi a turbinelor cu abur saturat, au fost subliniate trăsături caracteristice ale turbinelor cu heliu, au fost subliniate posibilităţile neepuizate încă de perfecţionare a folosii sodiului ca agent de răcire la reactoarele rapide reproducătoare. De asemenea, problema rezervelor de combustibili nucleari, ca şi a metodelor mai avantajoase de îmbogăţire a uraniului, a fost analizată în lumina multiplelor sale aspecte.

La secția 2.5. — Alte surse de energie și producere directă a energiei electrice — au fost prezentate referate privind realizări îmbucurătoare în domeniul generatoarelor magnetohidrodinamice, surselor geotermice, celulelor solare și a celulelor cu gaz. Transformarea directă a energiei în energie electrică este un domeniu în care s-au făcut numeroase cercetări, fără să se fi găsit încă soluții avantajoase din punctul de vedere al randamentului transformării, al puterii unitare a aparatelor, al costurilor.

La generatoarele magnetohidrodinamice, problemele importante privesc asigurarea menținerii ionizării gazelor și la nivele mai coborîte de temperatură, a calității combustibilului și, prin aceasta, și a produselor de ardere a căror conductivitate termică influențează puterea specifică obținută din instalație, asigurarea unor materiale compatibile cu fluidele la temperatura foarte ridicată din generator.

Sursele geotermice sînt răspîndite în numeroase țări, însă dificultatea principală a folosirii lor este nivelul scăzut de temperatură, în general sub 100°C.

Din acest motiv se caută soluții de valorificare cu ajutorul unor instațalii simple, dar care să aibă randamente ridicate.

Dezvoltarea tehnicii zborurilor cosmice a forțat progresul în domeniul celulelor solare pentru transformarea directă a energiei, crescîndu-se în special puterea specifică ($W/m^2$) și durata lor de viață, ca și masa acestora.

La celulele cu gaze naturale se cercetează posibilitatea de creștere a puterii unitare, a randamentului transformării, reducerea zgomotului produs și a poluării mediului, a volumului specific ($m^3/kW$), a costului, astfel încît instalația să devină o realizare industrială utilizabilă în diverse domenii.

Diviziunea 3

## „Scheme și instalații pentru utilizări complexe ale energiei în scopuri multiple"

I. D. Stăncescu și
C. Moțoiu *)

Conținutul vast al acestei diviziuni a cuprins preocupările pentru valorificarea complexă a energiei prin combinări și asocieri de procese în scopuri foarte variate. S-au primit 52 de rapoarte și au avut loc, în ședințe, 69 de intervenții repartizate pe următoarele secții:

3.1. Principii generale sau concepții de ansamblu care pot îmbunătăți valorificarea energiei prin utilizarea complexă (13 rapoarte).
3.2. Utilizarea complexă a resurselor hidraulice (11 rapoarte).
3.3. Utilizarea complexă a combustibililor clasici în industrie (15 rapoarte).
3.4. Utilizarea complexă a combustibililor clasici în alte domenii (3 rapoarte).
3.5. Utilizarea complexă a combustibililor naturali pentru alimentarea cu energie a centrelor populate noi sau în dezvoltare rapidă (4 rapoarte).
3.6. Utilizarea complexă a energiei nucleare (6 rapoarte).

Lucrările diviziunii au fost conduse de un prezidiu format din: Pierre Wyart (Franța) — președinte, Waclaw Fiszer (Polonia) și Vasile I. Nitu (România) — vicepreședinți, Ioan D. Stăncescu și Costin Moțoiu (România) — raportori generali.

Intervențiile și discuțiile s-au purtat în trei ședințe de lucru, grupate astfel:
— I : secțiile 3.1. și 3.2.
— II : secțiile 3.3. și 3.6.
— III : secțiile 3.4. și 3.5.

Rapoartele și intervențiile, prezentînd o serie de puncte de vedere de ansamblu, variate după specificul țării și al problemei abordate, au adus o serie de date asupra unor realizări și idei noi în domeniul instalațiilor destinate pentru valorificări complexe ale energiei și au arătat rezultate ale experienței dobîndite.

*Secția 3.1*

O primă grupă de probleme, cu caracter general, a evidențiat promovarea și dezvoltarea pe scară națională a producerii combinate de energie electrică și căldură, a valorificării resurselor energetice secundare, precum și gruparea, în zonele de extracție a combustibilului, a unor mari complexe industriale pentru valorificarea complexă și superioară a combustibililor.

Au fost expuse ideile care conduc la extinderea termoficării în Japonia, dezvoltînd procese combinate pentru scopuri urbane, mari platforme industriale și desalinarea apei de mare (3.1.—161). Rezultatele obținute prin dezvoltarea la scară națională a termoficării și criteriile pentru analiza eficienței ei economice au fost arătate în rapoartele românești 3.1. — 222 și 3.1. — 223.

*) Ing. Ioan D. Stăncescu este profesor universitar emerit la Institutul politehnic București, consilier al ministrului învățămîntului, membru al Colegiului Ministerului Energiei Electrice; ing. Costin Moțoiu este conferențiar la Institutul politehnic București. Ambii au fost raportori generali la diviziunea a 3-a.

Promovarea valorificării resurselor energetice secundare pe plan naţional, ceea ce reprezintă 15% din combustibilul întrebuinţat în industrie, a format obiectul raportului 3.3. — 116 (U.R.S.S.), din care rezultă efortul remarcabil pentru fabricarea unei game largi de instalaţii recuperatoare cît mai bine adaptate proceselor. Proiecte pentru dezvoltarea unor mari grupări industriale în zone de extracţie a combustibilului, valorificînd complex resursele de cărbune pentru scopuri energetice şi tehnologice şi combinînd chimizarea cărbunelui cu chimizarea petrolului, au fost prezentate în rapoartele 3.3. — 176 şi 3.3. — 184.

Discuţiile au confirmat punctele de vedere din rapoarte, vorbitorii — Filkov (U.R.S.S.), Marecki (Polonia) şi S. Ando (Japonia) — prezentînd date asupra dezvoltării termoficării urbane în ţările respective. Au fost exprimate puncte de vedere specifice fiecărei ţări cu privire la alocarea de investiţii în acest scop (Mira — Ungaria). În această privinţă apar unele diferenţe de opinii, după cum problema este analizată la scara economiei naţionale, la nivelul întreprinderii sau al ramurii industriale.

Atît din rapoarte cît şi din luările de cuvînt au rezultat influenţa pozitivă majoră pe care termoficarea o are asupra reducerii poluării mediului înconjurător şi posibilităţile îmbunătăţite pe care le oferă pentru controlul acesteia. Mai mulţi vorbitori—Levai (Ungaria), I. D. Stăncescu şi H. Furtunescu (România) au făcut legături între introducerea livrării centralizate a căldurii prin procese combinate şi ameliorarea confortului şi nevoia de a cuprinde aceste efecte pozitive în calculele economice. S-a relevat şi influenţa pozitivă asupra reducerii riscului de incendiu mai ales în zone seismice.

O a doua grupă de rapoarte, pe marginea cărora s-a înregistrat o amplă luare de cuvînt, a tratat despre concepţiile, soluţiie şi dimensionările instalaţiilor complexe şi preocupările legate de optimizarea alegerii caracteristicilor unităţilor din procesele combinate.

Experienţele dobîndite, dimensionarea centralelor de termoficare cu abur şi principiile care rezultă dintr-un număr de studii şi cercetări au făcut obiectul a două rapoarte: 3.1. — 115 (U.R.S.S.) şi 3.1. — 226 (România). În alte trei rapoarte, 3.1. — 84 (Canada), 3.1. — 143 şi 3.1. — 201 (Cehoslovacia), sînt date exemple de realizări de instalaţii de centrale şi de turbine de termoficare. Din toate acestea s-au desprins următoarele idei mai importante, de actualitate:

— Principiile de dimensionare a centralelor de termoficare trebuie adaptate specificului acestora şi conduc la unele diferenţe faţă de centralele de condensaţie. Cazanele sînt alese pe bază de criterii de siguranţă, cu un număr minim de trei. Partea de răcire a centralei, care funcţionează cu debit variabil şi are un număr redus de ore de utilizare a capacităţii instalate, urmează să fie dimensionată în schimb cu încărcări specifice majorate şi cu încălzire în condensator de cel puţin 12,5 grd.

Parametrii aburului la cazane se menţin, după toate prezentările făcute, la $p = 135 - 137$ bar şi $t = 540 - 570$°C, pentru grupuri pînă la 100 MW. Trecerea la presiuni superioare, cu scheme-bloc şi supraîncălzire intermediară, este indicată ca oportună de toate cele trei referate (3.1. — 115, 3.1. — 228, 3.1. — 201) pentru unităţi depăşind 100 MW, la termoficarea urbană.

În ceea ce priveşte turbinele, din toate rapoartele rezultă tendinţe spre unităţi cît mai mari. Raportul 3.1. — 115 arată că în U.R.S.S. puterea unitară curentă este între 50 şi 250 MW, tipul folosit fiind cel de condensaţie şi cu priză reglabilă.

Interesul pentru instalarea turbinelor de termoficare cu contrapresiune a fost, de asemenea, arătat în mai multe referate şi luări de cuvînt; în prezent cea mai mare putere care funcţionează este turbina de 80 MW, pe o platformă industrială canadiană, iar în Cehoslovacia se construieşte un grup de 113 MW cu o contrapresiune coborîtă, pentru termoficare urbană, avînd supraîncălzire intermediară; în Polonia apar avantajoase unităţile de 55—100 MW cu contrapresiune.

În figura 1 este redată schema unei noi centrale de termoficare din Praga, folosind două turbine cu contrapresiune de 0,4—2,5 bar, cu

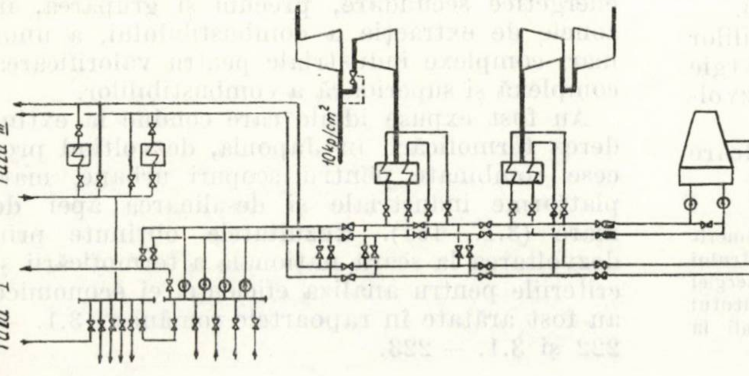



Fig. 1. Schema termică a CET Maleşice — Praga, folosind turbine cu contrapresiune.

puterea nominală de 55 MW (max. 60 MW) și cu presiune inițială de 130 bar.

Turbinele pot funcționa și fără sarcină termică, folosind un turn de răcire pentru apa de rețea.

Introducerea turbinei cu gaze în procese combinate cunoaște o dezvoltare asemănătoare cu folosirea acestor mașini în centralele termoelectrice ale sistemelor energetice. Schemele sînt din ce în ce mai variate, iar soluțiile cuprind practic toate tipurile de cicluri de turbine cu gaze.

În principal, posibilitățile de combinare se pot sistematiza în următoarele categorii :

— turbina cu gaze, pentru generatoare electrice, cu recuperare de căldură cu potențial termic ridicat sau coborît, eventual folosind postcombustia (3.6. — 136 Elveția) ;

— turbina cu gaze, pentru generatoare electrice, folosind resurse energetice secundare gazoase (3.6. — 136) ;

— turbina cu gaze, ca turbină de acționare în procesele tehnologice, folosind combustibil clasic, gaze din proces, sau resurse energetice secundare (3.3. — 112 ; 3.3. — 175 — U.R.S.S.) ;

— turbina cu gaze folosind camere de ardere ca reactor chimic, cu livrare de gaze combustibile spre proces (3.1. — 30 — Belgia) ; în acest caz are loc numai o admisie parțială de aer și o oxidare parțială, rezultînd un gaz combustibil de reacție cu conținut de CO, $H_2$ și $CH_4$ la temperatura de 800 — 1100°C. După calcul, randamentul global al utilizării combustibilului atinge 88,9 — 91,9%.

Atît rapoartele (3.6. — 134), cît și prezentările făcute de Taygen (Elveția), Bammert și Bunde (R.F.G.) au arătat interesul pe care-l prezintă turbinele cu gaze în circuit închis și progresele realizate de aceste instalații, în special în legătură cu optimizarea ciclului și folosirea recuperatoarelor de căldură și a ciclurilor de heliu.

Între aplicațiile deosebite, se citează turbina cu gaze în circuit închis montată în centrala electrică Splittelau (Viena), alături de instalații de ars gunoaie menajere, cu cea mai mare putere realizată pînă acum de asemenea grupuri (30 MW) și un indice de termoficare de 450—600 kWh/Gc al.

Intervenția lui Schaffiotte (Franța) a prezentat ideea producerii combinate de energie electrică și apă desalinată cu ajutorul turbinelor cu gaze în circuit deschis, utilizînd căldura din gazele de ardere plus o postcombustie.

Introducerea instalațiilor abur-gaze la centralele de termoficare a fost tratată de raportul 3.3. — 66 (Polonia) și 3.3. — 133 (U.R.S.S.) ; raportul polonez ajunge la concluzia că ciclul mixt devine economic avantajos, la o putere de 32,4 MW, de la o utilizare a puterii instalate de 4000 h/an.

Preocupărilor pentru livrarea de căldură la consumatori urbani li se adaugă și cele pentru producerea combinată a frigului. În două luări de cuvînt s-a expus ideea producerii centralizate de căldură, frig și energie, cu transport de frig (Tremba — R.F.G.) sau transport de căldură obținută prin termoficare și producere de frig la consumator (M. Voinea — România).

*Secția 3.2*

În secția rezervată amenajărilor hidroenergetice complexe au fost evidențiate o serie de preocupări legate de actuala dezvoltare a hidroenergeticii și de legăturile ei strînse cu celelalte sectoare de activitate umană, inclusiv influențele reciproce între amenajările hidro și centralele termoelectrice.

Se desprind următoarele idei generale :

Încadrarea complexului de probleme legate de folosirea multilaterală a apelor într-un program unitar coordonat, la scara unei economii naționale sau a unor întinderi geografice foarte mari.

Scara acestor preocupări este dată de raportul 3.2. — 138, care se ocupă de potențialul hidroenergetic al teritoriului U.R.S.S., estimat la 4000 TWh, și la un program cuprinzînd o capacitate de regularizare de 100 miliarde $m^3$, cu o suprafață irigată de 21 milioane ha. Metodologia actuală de abordare a unor asemenea studii complexe, analizată de raportul 3.2. — 196 (S.U.A.), exemplifică folosirea procedeului analizei de sistem și a mijloacelor moderne de calcul pentru cazul bazinului hidroenergetic vast și complicat al fluviului Columbia, care ridică probleme variate, pe teritoriul S.U.A. și al Canadei. Amploarea numărului de amenajări rezultă din figura 2, care prezintă planul de

Fig. 2. Bazinul fluviului Columbia și principalele amenajări

ansamblu al bazinului. Pe aceeaşi temă sînt analizate situaţii din Italia (3.2. — 7), Japonia (3.2. — 135) şi România (3.2. — 228).

— Preocupări de echilibrare a bilanţurilor de apă pentru nevoile complexe ale unei regiuni, cu compensări de debite între bazine combinat cu folosirea de importante instalaţii de pompare-acumulare.

Raportul 3.2. — 7 (Italia) prezintă un număr de astfel de proiecte avînd în principal rolul de satisfacere a nevoilor irigaţiilor combinat cu producerea de energie electrică; în mod asemănător, raportul 3.2. — 56 (Spania) descrie o amenajare spectaculoasă ce derivează un debit de 33 $m^3/s$ din bazinul Tojo în bazinul Segure, la o distanţă de 290 km. Pe teritoriul U.R.S.S., această redistribuire de debite, conform raportului 3.2. — 138, impune transportul unei cantităţi de apă de 20—25 $km^3$/an din rîurile nordice în bazinul Volga şi în zona depresionară Aral — Caspica. Aceeaşi preocupare conduce în Japonia (3.2. — 135) la reamenajarea rîurilor din această ţară, care dispune de un mare număr de centrale hidroelectrice mici. Scara nouă a economiei naţionale impune concentrarea debitelor în acumulări mari, folosirea de puteri unitare cît mai mari la turbine şi redistribuirea debitelor prin acumulare şi pompare pentru nevoile complexe ale oraşelor, industriei şi agriculturii.

— Analiza dezvoltării şi a exploatării optime a cascadelor de centrale hidroelectrice pe firul apei, eventual combinate cu acumulări şi staţii de pompare (3.2. — 13 Austria; 3.2. — 54 Cehoslovacia şi 3.2. — 231 România). În rapoarte au fost descrise sistemele hidroelectrice şi de navigaţie Inn-Dunăre, Porţile de Fier, rîul Vah. Interesantă apare cercetarea pentru folosirea centralelor pe firul apei pentru regimuri electrice de vîrf şi de rezervă, fără a îngreuna navigaţia (3.2. — 54), şi influenţa multiplă a încălzirii rîurilor, datorită centralelor termoelectrice, ceea ce favorizează navigaţia iarna.

În discuţii, Savey (Franţa) a arătat comparativ problemele amenajării Dunării şi a fluviului Rhône, iar Frank (România) a subliniat posibilităţile complexe de folosire a apelor României.

— Realizarea unor amenajări complexe care să servească pentru producerea de puteri de vîrf şi, totodată, ca mijloc de răcire pentru centralele termoelectrice, simultan cu acoperirea altor nevoi de apă şi folosinţă, a fost citată în rapoartele 3.2. — 13 şi 3.2. — 54, dar a format mai ales obiectul raportului 3.2. — 195 (S.U.A.) şi al mai multor luări de cuvînt. Raportul menţionat arată ameliorarea bilanţului cu reducerea pierderilor de apă datorită creării unei amenajări la Keowee-Texaway, care asigură o putere hidraulică de 140 MW + 610 MW într-o unitate de pompare-acumulare şi răcire a unei puteri de 7000 MW instalaţi în centrale termoelectrice clasice şi nucleare. P. Senechaut (Franţa) şi D. Leason (Anglia) au confirmat punctul de vedere asupra rolului apei ca agent de răcire şi avantajele de a beneficia, la centralele termoelectrice, de efectele unor acumulări hidraulice supraanuale.

O soluţie tehnică deosebită a prezentat raportul 3.2. — 180 (Iugoslavia), în care se descrie amenajarea multilaterală a unei regiuni carstice care dispune de un rîu cu un curs subteran de zeci de kilometri. Amenajarea scoate de sub inundaţie o cuvetă carstică fertilă, altfel inundată de acumularea naturală datorită debitului de curgere limitat al sistemului de grote care o drenează; în acelaşi timp se asigură nevoile de apă ale unei regiuni deficitare în apa de suprafaţă.

*Secţia 3.3*

În şedinţa a doua, rapoartele şi luările de cuvînt au abordat numai unele probleme ale proceselor combinate din industrie, a căror multitudine şi varietate nu poate fi cuprinsă într-o asemenea discuţie. Este de reţinut nivelul de la care se analizează în unele cazuri problema, căutînd a atrage forme de combinare a unor industrii diferite pentru a beneficia de efectul de mărire a scării.

Din rapoarte şi discuţii au mai reieşit următoarele idei generale:

— multiplicarea şi adîncirea formelor de combinare continuă să evolueze, realizînd bilanţuri economice favorabile şi economii de energie primară şi materie primă;

— apariţia tot mai frecventă a proceselor energotehnologice cu bilanţ compensat sau excedentar de energie electrică;

— folosirea tot mai frecventă a turbinelor cu gaze ca mijloace de antrenare în industrie.

În cadrul intervenţiilor, Durand (Franţa) şi Clay (Anglia) au exprimat prudenţa cu care trebuie studiat un ansamblu de producţie industrială şi energetică, ţinînd cont de faptul că fenomenul industrial şi procesele acestuia se schimbă mai des în timp. Concepţia trebuie realizată de la început unitar, pentru a avea o combinare rentabilă, dar cu scheme cît mai elastice.

Pe grupe de industrii, s-au evidenţiat următoarele:

*Industria cărbunelui.* În această grupă de preocupări au fost prezentate trei proiecte de dezvoltare complexă a unor mari zăcăminte de cărbune superior (3.3. — 176 şi 3.3. — 184 India şi 3.3. — 187 R.S.A.).

Integrarea mai multor procese de chimizare a cărbunelui este realizată în funcţie de baza de combustibil şi de condiţiile locale. Hidrogenarea cărbunilor şi obţinerea de produse chimice şi combustibil lichid au o eficienţă legată de balanţa combustibilului lichid în ţara respectivă şi au sens numai în ţări cu resurse de petrol limitate.

De altfel, este de reţinut punctul de vedere al preşedintelui diviziunii, P. Wyart (Franţa), că în actualele condiţii ale modificării resurselor de combustibil şi a preţului lor, cu toată tendinţa de orientare spre combustibilul lichid, zăcămintele mediocre de cărbune sînt neeconomice şi de multe ori se închide exploatarea lor, dar marile zăcăminte de cărbune superior, raţional exploatabile, sînt din ce în ce mai rare şi devin tot mai valoroase tehnic şi economic.

*Industria petrolului şi a gazului.* În acest domeniu, în care Congresul Mondial al Petrolului de la Moscova a precedat a 8-a Conferinţă Mondială a Energiei, numărul de probleme din rapoarte şi discuţii a fost mai redus.

Raportul 3.3. — 163 (Japonia) expune concepţia de ansamblu a unui nou complex industrial pe bază de petrol la Kashima, avînd o platformă puternică de chimizare, o instalaţie portuară proprie şi o viitoare supercentrală termoelectrică de 4400 MW. Este interesantă grija pentru sistematizarea teritorială, prioritatea dată problemei poluării (cu combustibil cu conţinut ultraredus în sulf pentru situaţii excepţionale şi aplicarea desulfurării pentru combustibilii livraţi în zonă).

Noile rafinării de petrol au nevoie de consumuri de căldură cu potenţial ridicat de temperatură. Raportul 3.3. — 122 (U.R.S.S.) analizează integrarea turbinei cu gaze în rafinăriile de petrol cu livrarea directă de gaze în focarul industrial sau livrarea de căldură prin intermediul aburului. La scara noilor rafinării din U.R.S.S., puterea electrică produsă atinge 1000 MW cu randamente depăşind 50%. Rafinăria de petrol devine astfel un complex industrial cu producţie tehnologică şi energetică cu livrare avantajoasă de energie electrică, abur şi apă caldă spre exterior.

Un subiect care a prezentat un interes deosebit, prin raportul 3.3. — 10 (Spania) şi intervenţia lui Jacquemier (Franţa), este valorificarea complexă a frigului acumulat în gazele lichefiate în vederea transportului sau în vederea distilării fracţionate pentru reducerea conţinutului de azot. Ideea de recuperare a frigului este rentabilă, trebuie avută în vedere de la începutul investiţiei şi se poate aplica pentru industria alimentară cu uscare prin frig sau la antrepozitele frigorifice.

*Industria siderurgică.* Siderurgia a format punctul central al discuţiilor privind procesele combinate din industrie. Din rapoartele 3.3. — 145 (Franţa), 3.3. — 178 (U.R.S.S.) şi 3.3 — 229 (România), precum şi din intervenţiile făcute de Durand şi Bureau (Franţa), Clay şi Harmsworth (Anglia) şi Terdiman şi Barbu (România), se detaşează următoarele :

— industria metalurgică, deşi veche, este capabilă încă de progrese, iar aceste progrese sînt strîns legate de folosirea de procese combinate ;

— folosirea cocsului continuă să poată fi redusă prin folosirea hidrocarburilor şi prin hidrogenarea exterioară ;

— asocierea proceselor în industria siderurgică pune problema ca întreaga concepţie să fie unitară şi tratarea rezervelor şi apelarea la surse de ajutor mutual în alimentarea cu energie să fie perfect coordonate de la început.

După cele arătate în raportul 3.3. — 145, care descrie noile procedee de elaborare a fontei în furnalul înalt şi îl transformă într-un reactor chimic de mare randament, şi după datele confirmate de luările de cuvînt, consumul de cocs poate coborî pînă la 290—300 kg pe tona de fontă.

Acelaşi raport, precum şi raportul 3.3. — 128 (R.F.G.) au prezentat procedeele noi de obţinere directă a oţelului din minereuri, ceea ce presupune o adîncă combinare de procese energetice şi tehnologice.

Raţionalizarea consumului de energie electrică în siderurgie formează obiectul raportului 3.3. — 178 (U.R.S.S.), în timp ce raportul 3.3. — 229 (România) prezintă bilanţurile de energie pe ansamblul unui complex modern (Combinatul siderurgic Galaţi) şi face o interesantă analiză comparativă a bilanţurilor parţiale pe secţii între mai multe soluţii şi realizările actuale.

*Industria chimică.* Pentru procesele combinate din ramura industriei chimice, au fost primite numai două rapoarte, 3.3. — 113 şi 3.3. — 175 (U.R.S.S.), ambele referitoare la industria azotului.

Raportul 3.3. — 113 studiază introducerea ciclului mixt abur-gaze la fabricarea amoniacului şi hidrogenului prin reformarea catalitică a metanului şi la procesul de producere a acidului azotic, varianta optimă fiind o integrare adîncă a ciclului energetic care foloseşte turbine cu abur la antrenarea compresoarelor de proces şi o turbină cu abur şi una cu gaze pentru antrenarea generatoarelor electrice (fig. 3). Raportul 3.3. — 175 reia problema fabricaţiei acidului azotic din aer, demonstrînd posibilitatea de realizare a unui proces energotehnologic legat de antrenarea compresorului principal de aer şi de recuperarea căldurii din gazele evacuate. Această soluţie are un efect pozitiv şi asupra reducerii poluării atmosferice.

### *Secţia 3.4*

În cadrul acestei secţii, una dintre problemele prezentate a fost valorificarea energiei geotermice (3.4. — 210), în care Secţia energetică a Diviziei Resurse-Transport din Departamentul pentru Afaceri Economice şi Sociale al O.N.U. dă o informare recentă asupra stadiului şi perspectivelor folosirii complexe a energiei geo-

termice pentru producerea de energie electrică, livrarea de căldură pentru sere și crescătorii de animale, climatizare, procese frigorifice, încăl-

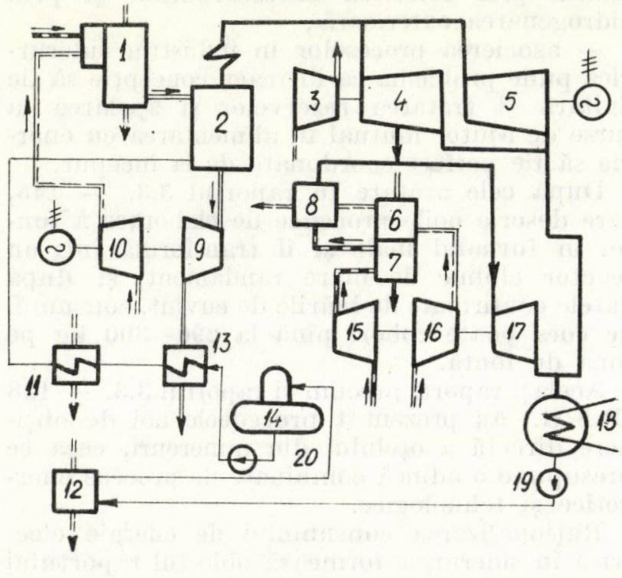



Fig. 3. Schema unei instalații abur-gaze destinată producției de energie electrică și amoniac din gaz metan :

*1* – instalație de reformare a metanului ; *2* – cazan de abur de înaltă presiune ; *3* – compresor de amestec hidrogen-azot ; *4,5* – turbine de abur de înaltă presiune ; *6,7* – preîncălzitoare de aer și metan ; *8* – amestecător ; *9, 10* – turbină de gaze și compresor ; *11, 12* – schimbătoare de căldură în procesul tehnologic ; *13* – economizor ; *14* – degazor ; *15, 16* – compresoare de abur și metan ; *17* – turbină de abur de medie presiune ; *18* – condensator ; *19, 20* – pompe de condensat și de alimentare ; ▬▬ abur ; ——— apă ; ■[ |■| ]■ metan ; — — aer ; ═══ produse de combustie ; = = = gaz de proces.

zirea solului și a minelor în regiuni friguroase, precum și perspectiva extragerii unor substanțe sau minerale antrenate.

Asupra aplicării surselor geotermice la desalinarea apei de mare a vorbit Armstrong (S.U.A.), arătînd complexitatea preocupărilor și influența pozitivă a antrenării acestei surse asupra bilanțului apelor de suprafață din California. Este de reținut programul vast de cercetări prealabile necesar. Pe aceeași temă, Szucs (Ungaria) a arătat că problema este actuală în Ungaria pentru încălzirea noilor orașe, însă folosirea impune nivelul maxim de temperatură de 90°C din motive de coroziune, depuneri de săruri și eroziune în conducte.

Desalinarea apei de mare prin producerea combinată de energie electrică și căldură din surse clasice a făcut obiectul raportului 3.1. — 121 Franța, în care se prezintă un exemplu de centrală cu puterea de 140 MW, realizînd, prin vaporizatoare tip ,,Flash'', 25 000 $m^3$ apă dulce, instalația fiind integrată unui complex industrial de aluminiu.

O altă problemă care a fost dezvoltată în rapoartele engleze 3.3. —192, 3.4. — 42 și 3.3. — 126 se ocupă de sistemele energetice denumite totale (total energy system), care acoperă cu un singur combustibil, de preferință gazul, toate cererile de energie (mecanică, electrică, încălzire, climatizare). Această soluție de producție combinată la fața locului, cu ajutorul unor unități de mică putere, a luat avînt în special în Anglia, atît pentru scopuri urbane cît și pentru scopuri industriale. Dezvoltarea se explică prin prezența unor cantități de gaze ieftine din zăcămintele recent descoperite și prin mărirea siguranței de lucru și perfecționarea mașinilor energetice de putere mică. În cadrul discuțiilor, Shepard și Dodds (Anglia) au arătat că la clădiri bine izolate sistemul total energetic permite să se mărească acumularea de căldură pe timp de noapte, majorînd avantajele economice. Delsol, Gerard și Hernande (Franța) au confirmat interesul pentru aplicarea acestei soluții la clădiri sociale și comerciale în Franța, arătînd competitivitatea ei sub aspectul fiabilității și al supleții, în timp ce Cotton de Bentot (Franța), prezentînd concluziile pentru alimentarea cu căldură a unor imobile, ajunge la concluzia că, pentru un imobil bine izolat, sistemul ,,total energy'' aduce o economie nesemnificativă de 8%.

Simetric cu ideea producerii combinate, în raportul 3.5. — 74 (Franța) se argumentează avantajele utilizării combinate a energiei în clădiri, pornind de la sursa unică de energie — energie electrică — folosind pompa de căldură pentru valorificarea căldurii-deșeu din coșurile de ventilație, a căldurii excedentare din anumite zone sau a legării a doi consumatori apropiați complementari (unul de căldură și unul de frig).

O problemă asemănătoare este tratată în referatul 3.4. — 77 (Anglia), care arată modul în care sînt întocmite balanțele degajărilor de căldură în Anglia.

*Secția 3.5*

În legătură cu alimentarea cu căldură a orașelor noi sau în dezvoltare rapidă, rapoartele și discuțiile ample au vizat două categorii de chestiuni : probleme de principiu în alegerea sistemului de alimentare și probleme speciale legate de îmbunătățirea tehnicii de alimentare cu căldură a clădirilor și de raționalizare a consumurilor de energie ale acestora.

Rapoartele 3.5. — 63 (Polonia), 3.5. — 140 (R.D.G.), 3.5. — 144 (Suedia) și 3.1. — 143 (Cehoslovacia) optează pentru termoficare ca mijloc de alimentare cu căldură a orașelor, indicînd limitele inferioare ale rentabilității și efectele pozitive multiple. Raportul 3.5. — 63 prezintă chiar o serie de concluzii pe bază de măsurători, din care reiese micșorarea poluării în orașele Varșovia și Lodz ca urmare a aplicării termoficării.

Numeroși specialiști suedezi — Holmin, Bergstrom, Gradin, Kohler — au susținut aceeași idee, arătînd că densitatea și mărimea consumului sînt esențiale pentru rentabilitatea termo-

ficării şi s-au pronunţat pentru alimentarea oraşelor suedeze cu căldură transportată pe distanţe mari, cu excepţia localităţilor mici, unde alimentarea electrică este cea optimă. Borovicz (Polonia) a exemplificat problema alimentării cu energie a oraşelor poloneze în condiţiile folosirii combustibilului (huilă), arătînd avantajele alimentării cu două forme de energie : căldură prin termoficare şi energie electrică.

Aceeaşi concluzie se desprinde din intervenţia lui Steingauz (U.R.S.S.), care arată că alimentarea cu două forme de energie prin termoficare este interesantă pentru oraşe cu 100 000–150 000 de locuitori, puternic industriale, sau oraşe cu 300 000–400 000 locuitori obişnuite. Alimentarea exclusiv electrică este raţională numai în zonele meridionale din U.R.S.S. şi în oraşe mici.

Alte rapoarte şi intervenţii s-au pronunţat pentru alimentarea oraşelor cu o singură sursă de energie — gazul — prin sisteme total energy, iar o a treia grupă de rapoarte — 3.1. — 130 (Franţa), 3.1. — 166 (Ungaria) — şi de vorbitori — Dubois-Carrasse (Franţa), Lalander (Suedia) au arătat avantajele alimentării integrale cu energie electrică, soluţie de viitor, odată cu intervenţia masivă a centralelor nuclearoelectrice.

În problema alimentării oraşelor cu energie din surse nucleare, Bergstrom şi Gradin (Suedia) şi Munster (R.D.G.) se pronunţă pentru transportul la distanţă al căldurii obţinute prin termoficare ; C. Wlezek (România) arată particularităţile optimizării unui asemenea transport, în timp ce raportul 3.1. — 166 al prof. Heller (Ungaria) şi intervenţia lui Lalander (Suedia) indică transportul de energie electrică produsă în condensaţie în CNE mai avantajos decît termoficarea şi transportul căldurii.

Privitor la ameliorarea tehnicii construcţiilor şi a instalaţiilor în legătură cu raţionalizarea consumului de energie, Wahlmann (Suedia) şi Suttor (R.F.G.) au prezentat două tipuri de aparate de recuperare a căldurii din instalaţiile de ventilare, similare preîncălzitoarelor de aer Linngström. Interesante au fost expunerile făcute de Primerose (Anglia) şi Carrasse (Franţa) referitor la interdependenţa metodelor de construcţie a locuinţelor şi alimentarea lor cu energie, arătînd că progresul în alimentarea cu energie în oraşe impune un nou stadiu al cooperării energetician-arhitect-constructor.

În ansamblu, din intervenţiile care au avut loc în cadrul diviziunii a 3-a se poate conchide că ele au exprimat păreri de pe poziţii diferite, şi anume unele de la nivelul economiei naţionale, altele de la nivelul unei ramuri, urmărind eficienţa legată de aplicarea unei anumite forme de energie în procese mixte, şi altele localizate la o întreprindere consumatoare de energie sau producătoare de utilaje necesare proceselor mixte.

Punctele de vedere variate asupra alimentării cu căldură a noilor centre urbane şi influenţa noilor procedee tehnice de construcţie şi a climatizării asupra alimentării cu căldură au condus la concluzia că este necesară analizarea, după specificul ţărilor, cît şi de la caz la caz, a soluţiilor de alimentare cu căldură.

Ţinînd seamă de complexitatea şi particularitatea problemelor puse de alimentarea cu energie şi de diversitatea punctelor de vedere exprimate, a rezultat necesitatea adîncirii studiului acestor chestiuni.

În ultima şedinţă a diviziunii a 3-a a fost făcută o propunere, votată în unanimitate, de a solicita Consiliului Executiv Internaţional al Conferinţei Mondiale a Energiei să examineze posibilitatea formării unui comitet ad-hoc pentru studiul mai profund şi multilateral, cu concursul tuturor comitetelor naţionale, al temei „Alimentarea cu energie a oraşelor noi sau a centrelor populate în rapidă dezvoltare”. Această propunere a fost acceptată.

*Secţia 3.6*

Rapoartele privind utilizarea complexă a energiei nucleare au marcat interesul legat de dezvoltarea reactoarelor cu heliu (HTGR) cu temperaturi înalte, care deschid perspectiva folosirii surselor de energie nucleară în procese industriale reclamînd niveluri ridicate de temperatură. Rapoartele 3.6. — 46 (S.U.A.) şi 3.6. — 126 (R.F.G.) arată posibilităţile de folosire a căldurii nucleare în industria fontei şi a oţelului. În intervenţiile lor, Martin (Franţa), Johnson (S.U.A.) şi Bidard (Franţa) au relevat stadiul posibilităţii de realizare a componentelor speciale ale acestor reactoare, iar Bidard a făcut o scurtă privire realistă asupra temperaturilor din reactorul răcit cu He şi a consecinţelor lor tehnice.

Legat de reactorul HTGR, raportul 3.6. — 136 (Elveţia) prezintă o serie de date asupra turbinelor cu gaze folosind heliul ca fluid de lucru, iar o serie de luări de cuvînt, menţionate la punctul 3.1., au confirmat progresele tehnice ale acestor instalaţii şi preocupările legate de optimizarea lor.

Desalinarea apei de mare a făcut obiectul unor rapoarte interesante prin concordanţa rezultatelor lor : 3.6. — 2 (Israel), 3.6. — 101 (R.F.G.) şi 3.1. — 161 (Japonia).

Rezultă că sursele nucleare devin competitive de la aproximativ 300 MWe în sus şi de la producţii de apă de 400 000–500 000 $m^3$/zi. Comparaţia filierelor indică drept optime reactoarele PWR (după raportul 3.6. — 2) şi HTGR (după raportul 3.6. — 101). Concluziile economice sînt adînc influenţate de condiţiile particulare de calcul şi de cotele admise pentru sarcinile fixe.

În discuţii, autorul raportului 3.6. — 2, Ashner, a arătat că în cazul creşterii preţului petrolului la US $ 21/t, centrala nucleară pentru desalinare devine competitivă chiar de la 150 MWe în sus, la un coeficient de utilizare de 80 %.

Comentînd consecinţele variaţiei sarcinii, intervenţia lui Smith (S.U.A.) arată necesitatea ca întregul calcul să se bazeze pe o optimizare de ansamblu, enunţînd ideea multiefectului unui proces energetic multiplu.

În raportul 3.6. — 101 se analizează şi optimizarea producţiei apă/energie electrică, propunîndu-se o schemă elastică cu o turbină cu condensaţie şi una cu contrapresiune, racordate la un reactor de 3000 $MW_t$, după cum este arătat în figura 4.

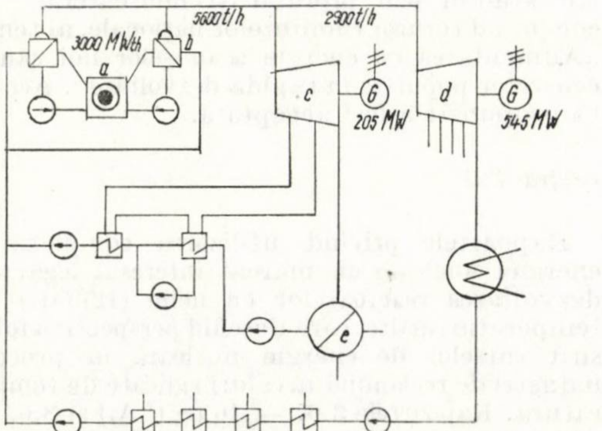



Fig. 4. Schema unei instalaţii de desalinare cu putere de 750 MW şi debitul de 1850 t/h abur pentru desalinare la presiunea de 2,5 bar.

Diviziunea 4

## Metode noi de calcul tehnic şi economic promovînd o mai bună utilizare a energiei

E. Costin *)

Cele trei secţii ale diviziunii a 4-a, în cadrul cărora au fost prezentate 55 de rapoarte, au avut următoarele teme :

1. Metode noi privind prognoza evoluţiei consumului de energie.
2. Metode pentru calculul unei mai bune utilizări a energiei.
3. Criterii de evaluare a investiţiilor şi a cheltuielilor anuale şi metode de defalcare pe diferite utilizări.

*) Emil Costin este inginer proiectant la ISPE. A fost secretar al diviziunii a 4-a la cea de-a 8-a Conferinţă Mondială a Energiei.

Instalaţiile nucleare pentru desalinarea apei pot fi integrate în complexe industriale şi agroalimentare cu irigări de suprafeţe pînă la 120 000 ha şi alimentări de industrii mari consumatoare de energie (aluminiu).

Lester (Canada) confirmă posibilităţile oferite de sursele nucleare în domeniul marilor consumatori industriali de energie, cum sînt fabricile de aluminiu.

Un raport canadian (3.6. — 37) descrie sistemul integrat de producţie constituit de două centrale nucleare de tip PHWR, Douglas-Point şi Bruce, o sursă auxiliară de cazane cu abur şi o fabrică de apă grea cu capacitatea de 100 kg/h.

Aspectele de siguranţă au fost puţin dezbătute în rapoarte şi în discuţii ; trebuie citată intervenţia lui Martin (Franţa), referitoare la necesitatea ca la reactoarele industriale căldura să fie transmisă prin circuite intermediare. În siderurgie folosirea energiei nucleare trebuie combinată cu o sursă de combustibil gazos ca rezervă.

### Concluzii

Prin varietatea şi actualitatea problemelor prezentate în rapoarte cît şi prin punctele de vedere, uneori diferite sau chiar contradictorii — datorate altor condiţii specifice exprimate în luările de cuvînt, lucrările diviziunii a 3-a reprezintă o etapă importantă de progres în acţiunea din ce în ce mai amplă şi apreciată a valorificării superioare a energiei prin folosirea ei complexă.

Luările de cuvînt s-au desfăşurat în cursul a două şedinţe tehnice, în cadrul cărora au fost audiate intervenţiile a 58 delegaţi înscrişi la cuvînt.

1. În legătură cu metodele noi de prognoză a consumului de energie, s-a constatat o diversitate de puncte de vedere şi tendinţe, care caracterizează situaţiile concrete actuale din ţările în care s-a trecut la elaborarea de prognoze.

Ca o trăsătură comună poate fi subliniată răspîndirea tot mai largă a concepţiilor şi metodelor statisticii matematice şi a cercetării operaţionale, precum şi tendinţa generală de a confrunta prognozele elaborate prin mai multe metode. Se constată, totodată, o orientare către metodele de corelaţie, care leagă consumurile energetice de ansamblul situaţiei economice a ţării sau a zonei pentru care se face prognoza. Aceasta înseamnă însă eliminarea din practică a metodelor de extrapolare a seriilor temporale, deoarece acestea necesită date statistice puţine şi relativ uşor accesibile.

*1.1.* Trecînd la abordarea fondului problemelor ce apar în legătură cu metodele de prognoză, se poate arăta că metodele de extrapolare a seriilor temporale au determinat relativ puţine contribuţii noi. Printre acestea, raportul 4.1 — 168, prezentat de Marea Britanie, se ocupă de prognoza consumului de petrol şi face o analiză foarte riguroasă a modului în care datele statistice ale trecutului pot fundamenta prognoze. În raport se arată că schimbarea în timp a condiţiilor tehnice, economice şi sociale face ca extrapolarea directă a unor serii temporale să nu dea rezultate decît în anumite condiţii, la alegerea adecvată a lungimii şi momentului iniţial al perioadei considerate drept perioadă de bază. Pe lîngă acestea, eroarea de prognoză depinde şi de tipul funcţiei care este aleasă să modeleze tendinţa seriilor de timp.

În cursul discuţiilor au apărut şi unele păreri contradictorii asupra utilităţii modelelor de extrapolare a consumului. Astfel, C. Nagy (România) a subliniat posibilităţile de utilizare a relaţiilor de extrapolare în prognoza pe termen lung, menţionînd însă necesitatea unor analize extrastatistice care să fundamenteze rezultatele obţinute pe modele.

E. Costin (România) a prezentat o analiză a mărimii erorilor de aşteptat în cazul modelelor extrapolate, din care a rezultat că aceste erori cresc sensibil cu lungimea şirului statistic extrapolat; nici coeficienţii ecuaţiilor deduse din şiruri relativ scurte nu prezintă o stabilitate suficientă. Din toate acestea rezultă că utilizarea extrapolării exponenţiale poate să-şi găsească justificare cel mult pentru perioade de timp foarte scurte.

*1.2.* În domeniul prognozelor bazate pe corelaţii cu diverşi factori, şi în special cu indicatori economici sintetici, contribuţiile au fost numeroase şi consistente; au fost remarcate păreri favorabile utilizării metodelor de corelaţii şi ecuaţiilor econometrice pentru prognoze energetice (Robson — Marea Britanie). Diversitatea contribuţiilor a arătat însă că această problemă se află în atenţia majorităţii specialiştilor domeniului prognozei energetice.

Raportul 4.1. — 61, descriind prognoza energiei electrice în Thailanda, arată că elaborarea acesteia a fost bazată în principal pe corelarea cu produsul naţional brut (PNB); G. Argent (Marea Britanie) a atras atenţia asupra faptului că acest fel de prognoze depinde de rigurozitatea prevederii PNB şi a citat exemplul Marii Britanii la mijlocul deceniului 1960, cînd prevederi inexacte ale PNB au avut urmări negative asupra prognozei energiei electrice.

Tot variaţiile constatate de Marea Britanie l-au determinat pe C. Forster (Marea Britanie) să scoată în evidenţă nesiguranţa prognozelor obţinute prin corelare cu PNB sau cu producţia industrială.

Raportul 4.1. — 61 arată că pentru Suedia prognozele pentru energia electrică bazate pe corelare cu indicatorii economici specifici nu au dat rezultate satisfăcătoare. F. Felix (S.U.A.) propune pentru această constatare explicaţia foarte plauzibilă că în Suedia atît PNB cît şi consumul de energie electrică cresc cu aproximativ aceeaşi rată, într-o ţară în care o cotă importantă a consumului energetic are loc sub formă de energie electrică.

În contradicţie cu aceste puncte de vedere potrivnice metodelor de corelare, unele rapoarte (4.1 — 191 — India, 4.1 — 230 — România) au prezentat cazuri în care aceste metode dau rezultate favorabile.

Pe lîngă sublinierea rezultatelor bune obţinute în România în prognoze prin metodele corelaţiei cu indicatori economici specifici, raportul 4.1 — 230 a atras atenţia asupra necesităţii de a diferenţia modelele de prognoză după scopul pe care aceasta îl urmăreşte, în special în cazul prognozelor care au drept scop dimensionarea instalaţiilor viitoare ale sistemului.

În prognoza pe termen lung se consideră însă că planificarea rezultă mai convingătoare dacă estimările de consum pe care aceasta se bazează nu pot fi criticate ca prea optimiste.

*1.3.* În afara acestor metode de prognoză de largă circulaţie şi de ideile legate de ele, în cadrul conferinţei s-au impus atenţiei şi alte consideraţii referitoare la prognoză.

Complexitatea în continuă creştere a factorilor economici şi extraeconomici de care trebuie să se ţină seamă în formularea unei politici energetice eficiente a fost subliniată atît în raportul 4.1 — 174 (U.R S.S.) cît şi în diverse intervenţii. Astfel, L. Hibbey (Ungaria) a prezentat o analogie între complexitatea economiei energetice şi cea a unei structuri organice, între partea de alimentare a economiei energetice şi sistemul de circulaţie sangvină. D.C. Ion (Marea Britanie) a atras atenţia asupra necesităţii de a privi prognozele în contextul dezvoltării celor mai diverse ramuri, subliniind că producţia de hidrocarburi este de aşteptat să crească în acelaşi ritm înalt în care se prevede că vor creşte necesităţile energetice ale omenirii.

Un alt aspect al aceleiaşi interacţiuni complexe în care este încadrată energetica a fost subliniat de E. Born (Marea Britanie), care a prevăzut pentru restul secolului al XX-lea o tendinţă de creştere generală a preţului energiei, care va provoca, probabil, diverse reacţii, printre care sporirea randamentului proceselor de utilizare a energiei şi influenţarea consumului energetic, ceea ce va atrage după sine necesitatea modificării modelelor de prognoză.

Printre alte idei interesante prezentate poate fi citată aplicarea unui model „input-output" de tip multisectorial (raportul 4.1 — 38), ca şi propunerea de a se lua în considerare în

modelele de prognoză unele fenomene noi care apar ca previzibile pentru perioada de prognoză (E. Dourille — Franţa). Au fost făcute, de asemenea, mai multe propuneri pentru orizontul temporal al diverselor previziuni: cel puţin zece ani pentru perspectiva medie şi 20—30 ani (în perioade de cîte cinci ani) pentru perspectiva largă (J.H. Rixse Jr. — S.U.A. şi K. Kopecki — Polonia).

*1.4.* Pe lîngă probleme de prognoză energetică de domeniul teoretic, au fost prezentate şi unele aplicaţii practice referitoare la prognoze pe termen mediu şi lung, care ilustrează în modul cel mai grăitor concepţiile dominante în legătură cu rigiditatea expansiunii energetice.

*1.5.* Din activitatea multilaterală depusă în cursul Conferinţei Mondiale a Energiei n-au lipsit nici propunerile de orientări viitoare în domeniul prognozelor, menite de a da noi impulsuri acestei activităţi. S-a subliniat, astfel, că diversele metode de prognoză discutate se referă, în marea lor majoritate, la ţări sau economii avansate, de complexitate ridicată; ceea ce lipseşte şi ar trebui să se afle în vederile viitoare Conferinţe Mondiale a Energiei sînt metodele ameliorate de prognoză, pentru economiile în curs de dezvoltare (J.H. Rixse Jr. — S.U.A.).

În cuvîntările lor, raportorii generali (E. Pavel şi Th. Popa — România) şi-au însuşit şi au extins acest punct de vedere, considerînd că se impune a recomanda ca o ţară să preia iniţiativa de a conduce la bun sfîrşit cercetări privind analiza metodelor, în scopul de a furniza tuturor celorlalte ţări indicaţii mai practice, sistematizate, în legătură cu metodele cel mai bine adaptate scopurilor. Totodată, vicepreşedintele diviziunii, R. Răduleţ (România) a subliniat că ar fi util ca cel puţin un comitet naţional să preia iniţiativa de a continua cercetările asupra metodelor de prognoză

2. Metodele utilizate pentru calculul unei bune utilizări a energiei cuprind un larg cerc de probleme, care se referă în primul rînd la optimizările cele mai diverse.

*2.1.* Dacă problemele de principiu ale optimizărilor pot fi tratate în mod felurit şi se cunosc propuneri dintre cele mai variate în legătură cu acest subiect, aplicarea acestor propuneri în practică întîmpină unele dificultăţi, legate, pe de o parte, de capacitatea limitată a mijloacelor de calcul aflate la dispoziţie, iar pe de altă parte de incertitudinea şi (sau) de cunoaşterea inexactă (cu insuficientă inexactitate) a unor elemente esenţiale pentru calitatea rezultatelor pe care le pot furniza diferitele metode de optimizare teoretică

Au fost prezentate multiple puncte de vedere, care acoperă domeniul tuturor problemelor citate aici.

În U.R.S.S. se consideră că economia energetică a unei ţări trebuie tratată ca un sistem complex unic, în cadrul căruia deciziile principale referitoare la dezvoltare sînt furnizate de un model global de optimizare, punct de vedere susţinut şi de R.D. Germană (P. Hedrich). Precizarea acestor decizii la nivelul sistemelor funcţionale este asigurată de modelele funcţionale de optimizare la care, drept criteriu de optimizare, se alege minimizarea costului total al investiţiilor în perioada studiată.

Mai multe ţări prezintă diferite modele de optimizare a dezvoltării sistemelor energetice care utilizează programarea liniară.

Cehoslovacia prezintă un asemenea model (raportul 4.2 — 179), aplicabil ţărilor industrial dezvoltate care dispun de resurse limitate de energie primară.

Tot pe programare liniară se bazează o metodă de optimizare a dezvoltării bazei energetice a unei ţări, prezentată de România (raportul 4.2 — 217). Rezultă că programarea liniară s-a afirmat ca un instrument de calcul util, a cărui aplicare se generalizează continuu. Ea se justifică mai ales în cazul problemelor cu caracter general, definit de domeniul examinat şi de termenul cît mai îndepărtat al soluţiei căutate.

Evitînd dezavantajele care rezultă din aproximările introduse cu programarea liniară, programarea dinamică discretă cucereşte un domediu de aplicare cît mai larg.

În R.F. a Germaniei (raportul 4.2 — 805) se admite, pe baza experienţei acumulate pînă în prezent, că durata perioadei de planificare — determinată în principal de precizia posibilă a datelor primare — se află între minimum 5—6 şi maximum 15 ani. Pe baza unei metode de programare dinamică discretă, optimizarea are loc succesiv pentru subdiviziuni ale perioadei de calcul, iar alegerea soluţiei optime finale se face pe baza unor ipoteze privind situaţia finală a sistemului.

Au fost citate o serie de exemple de modele de optimizare folosite, referitoare la planificarea sistemelor de transport al gazului natural (Marea Britanie — C. James), a sistemelor de distribuţie a apei şi energiei (K. Suttor — R.F.G.), a industriei gazului (H. Frost—R.D.G.).

În Franţa se subliniază avantajele aplicării informaticii atît în probleme de alegere a investiţiilor, cît şi în probleme de exploatare, prin exemple din cele mai variate industrii: a energiei electrice, a gazului, cărbunelui, siderurgiei, petrolului (raportul 4.2—75).

În S.U.A. au fost propuse noi metode de calcul atît pentru optimizarea instalaţiilor de producere a energiei electrice (M.F. Keat), cît şi pentru optimizarea transportului energiei electrice (J.A. Smith). Ambele programe identifică soluţia optimă pentru fiecare an al perioadei studiate. În cazul reţelelor, calculele sînt orientate cu ajutorul soluţiei obţinute prin programare liniară pentru sfîrşitul perioadei (peste 15—25 ani).

Tot pe bază de optimizare a fost stabilit şi programul de interconexiune între nordul central al S.U.A. şi provincia Manitoba (Canada). Avantajele acestei interconexiuni derivă atît din decalajul curbelor de sarcină ale zonelor interconectate, cît şi din sporirea siguranţei în funcţionare, în condiţiile în care diferenţa dintre resursele energetice ale celor două regiuni impune compensarea sezonieră a regimurilor de funcţionare a sistemelor (raportul 4.2—23).

Optimizarea operativă a regimurilor de funcţionare a sistemelor electroenergetice printr-o metodă variaţională de optimizare a repartiţiei puterilor active şi reactive între centrale este prezentată de România (raportul 4.2 — 229). Tot în România au fost evidenţiate preocupări legate de modul de exprimare a caracteristicilor energetice şi de alegerea situaţiilor caracteristice de funcţionare a grupurilor din centralele de termoficare (R. Dumitrache şi M. Dinu)

*2.2.* Un interes larg şi deosebit a suscitat dezbaterea problemelor de fiabilitate a instalaţiilor. În legătură cu aceasta, de o largă audienţă s-a bucurat problema unificării, sistematizării şi definitivării terminologiei folosite în tratarea statisticii şi calculelor fiabilităţii, astfel încît să se creeze posibilitatea de a generaliza pe plan internaţional experienţa acumulată in fiecare ţară în domeniul fiabilităţii. În acest sens au apărut mai multe preocupări, în special privitor la conceptele de definire a fiabilităţii.

După unele puncte de vedere (raportul 4.2—43, Marea Britanie), evaluarea continuităţii în funcţionarea instalaţiilor energetice trebuie bazată pe patru concepte fundamentale, aflate între ele în strînsă interdependenţă : fiabilitatea, avarierea, reducerea puterii şi disponibilitatea. În această accepţiune, fiabilitatea reprezintă condiţia conform căreia un echipament poate fi determinat să funcţioneze în concordanţă cu cerinţele contractuale, oricînd se doreşte acest lucru.

Avarierea apare în momentul în care echipamentul este în imposibilitate de a funcţiona. Reducerea puterii are loc în cazul în care echipamentul este în stare de funcţionare, dar nu poate furniza puterea nominală în condiţiile de exploatare prevăzute.

În sfîrşit, disponibilitatea, în sens larg, este situaţia în care un echipament capabil de funcţionare normală nu este pus în funcţiune.

Cuantificarea fiabilităţii diferitelor unităţi din centrale este exprimată, conform aceluiaşi punct de vedere, prin rapoarte de timp sau rapoarte de energie. Se propune adoptarea unei terminologii în acest sens.

Specialiştii din R.D. Germană îşi aduc contribuţia în această problemă arătînd că, în accepţiunea lor, disponibilitatea este utilizarea posibilă a fondurilor de bază şi că aceasta poate fi exprimată prin rapoarte de timp, energie sau putere (raportul 4.2—146).

Totodată, gradul de fiabilitate (raportul 4.2—147) este caracterizat prin raportul dintre timpul de funcţionare şi suma timpului de funcţionare şi de întrerupere stabilit pentru fiecare nod al sistemului.

O formulare mai generală a problemelor astfel dezbătute a fost propusă de specialiştii români (raportul 4.2—227), care definesc fiabilitatea ca probabilitatea stării de succes a sistemului considerat. Exprimarea cantitativă a acestei probabilităţi poate fi făcută prin relaţii simple, iar informaţia necesară pentru aplicarea diferitelor metode de studiu poate fi obţinută din analiza funcţionării elementelor instalaţiilor. Modelele de calcul de tip Markov asigură o rigurozitate sporită calculelor de fiabilitate.

Necesitatea stringentă de a pune în acord pe plan internaţional definirea diferitelor noţiuni legate de fiabilitate ca prim pas pentru un larg schimb de date şi elemente, ca şi necesitatea coordonării pe scară internaţională a colectării sistematizate a informaţiilor asupra disponibilităţii instalaţiilor au fost subliniate de mai mulţi participanţi. Aceasta a făcut ca atît raportorii generali, în cuvîntul lor, cît şi conducătorul şedinţei să sublinieze problemele ridicate. R. Răduleţ a arătat, în încheierea dezbaterilor primei şedinţe tehnice, că ar fi util ca un număr de ţări să se angajeze să desprindă din studiile de fiabilitate existente un sistem de concepte adecvate privind fiabilitatea. D-sa a salutat propunerile făcute în acest sens de către comitetele naţionale ale Marii Britanii, Franţei şi României. O notă în acest sens a fost înaintată spre aprobare Comitetului executiv internaţional al Conferinţei Mondiale a Energiei.

Interesul pentru mărirea gradului de fiabilitate în exploatarea sistemelor energetice s-a reflectat atît în mai multe rapoarte prezentate conferinţei, cît şi în luările de cuvînt. Din rapoartele care au abordat această tematică (4.2 — 62, 4.2 — 82, 4.2 — 106) rezultă că investiţiile aferente dotării cu calculatoare de proces şi cu instalaţii necesare informării şi comenzii automate se justifică economic prin creşterea fiabilităţii sistemului energetic şi a economicităţii exploatării acestuia.

Atît rapoartele cît şi intervenţiile au scos în evidenţă avantajele metodelor stocastice de tip Markov pentru studiul fiabilităţii sistemelor. Trebuie precizat că sistemul, fiind intermediar între echipament şi consumator, are caracteristici particulare din punctul de vedere al fiabilităţii şi, ca urmare, şi metodele de calcul trebuie să fie corespunzătoare. Pînă în prezent, experienţa acumulată nu a fost suficientă spre a se stabili un model matematic care, utilizînd date uşor de obţinut de la personalul de exploatare, să conducă la rezultate satisfăcătoare.

Colectarea unor asemenea date prin organizarea unui schimb internaţional de informaţii legate de funcţionarea instalaţiilor şi studierea posibilităţilor de a introduce indicatorul de fiabilitate printre obligaţiile contractuale ale constructorilor de echipamente a fost propusă de V.I. Nitu (România).

Constituirea unei bănci internaţionale de date statistice referitoare la fiabilitatea echipamentelor reprezintă o cerinţă legată în mod logic de organizarea şi sistematizarea schimbului internaţional de date în fiabilitate.

*2.3.* În cadrul problemelor ridicate de utilizarea mai bună a energiei în procesele de fabricaţie, pot fi semnalate unele elemente noi, ca :

— o modalitate de calcul al consumurilor energetice în producţia de cabluri de cauciuc (4.2—33);

— stabilirea unor relaţii de calcul pentru elaborarea bilanţurilor de masă, entalpie şi exergie ale unui sistem termodinamic deschis, cu aplicare la cazul uzinelor utilizatoare de gaze (4.2—148);

— propunerea unei metode de calcul pentru alegerea purtătorului de energie şi a echipamentului pentru procesul de fuziune la elaborarea fontei (4.2—218).

**3.** Dezbaterile referitoare la criteriile de evaluare a investiţiilor şi a cheltuielilor anuale şi la metodele de desfacere pentru diferite utilizări s-au concentrat în special asupra modurilor celor mai adecvate de defalcare a cheltuielilor.

*3.1.* Defalcarea cheltuielilor pe elemente, în cazul producerii combinate de energie electrică şi căldură. Unul dintre punctele de vedere prezentate (4.3—39), consemnînd dificultatea stabilirii de priorităţi obiective în cazul unei gestiuni unice a procesului integrat, subliniază interesul deosebit pe care îl prezintă o metodă generală de defalcare a costurilor, neinfluenţată de considerente de gestiune. Repartiţia cheltuielilor după criteriul propus pentru combustibil poate fi aplicată şi celorlalte costuri variabile şi chiar celor fixe, cu excepţia celor de investiţii. Valoarea de investiţie aferentă căldurii ar trebui să corespundă investiţiilor necesare într-o instalaţie de furnizare separată a căldurii la joasă presiune; diferenţa pînă la investiţia totală în instalaţia combinată se atribuie energiei electrice.

Un raport din S.U.A. (4.3—25) studiază două metode de repartizare a costurilor între căldură şi energie electrică : una exergetică şi una bazată pe un preţ prestabilit al energiei electrice.

În cazul metodei de repartizare a costurilor bazate pe un preţ prestabilit al energiei electrice, G. Argent (Marea Britanie) consideră necesară egalarea preţului ales cu tarifele existente. După opinia sa, preţul de vînzare a aburului trebuie să depindă de politica financiară a întreprinderii producătoare.

Un alt punct de vedere asupra repartiţiei costurilor între energia electrică şi căldură, în cazul producerii combinate a acestora, tratează în principal repartiţia costurilor de combustibil efectuată prin descompunerea ciclului centralei de termoficare, într-un ciclu cu condensaţie şi două cicluri cu contrapresiune. Consumurile de abur viu şi producţiile de energie sînt determinate separat pentru aceste cicluri echivalente (4.2—103).

Punctul de vedere susţinut de P. Lingard (Marea Britanie) prevede repartizarea costurilor între energia electrică şi căldură în proporţie cu elasticitatea preţurilor acestora, derivînd din cerere. Ţinînd totuşi seamă de lipsa de date corespunzătoare, se admite o repartiţie arbitrară între costuri.

*3.2.* Problemele funcţionării centralelor de termoficare au suscitat o anumită atenţie din partea conferinţei. În afara sublinierii importanţei avantajului pe care centralele de termoficare îl produc prin reducerea poluării termice (P. Leung — S.U.A.), au fost abordate diverse probleme de optimizare; s-a arătat că utilizarea calculatoarelor pentru optimizarea funcţionării unor asemenea centrale produce economii (4.2.—34).

A fost, de asemenea, prezentată o metodă de calcul al consumului anual de combustibil într-o centrală de termoficare, în care se fragmentează funcţionarea anuală într-un număr redus de perioade cu regimuri de funcţionare presupuse constante. În fiecare asemenea situaţie caracteristică, sarcinile sînt optimizate pe agregate printr-un model de programare liniară (4.2—215).

*3.3.* Utilizările complexe ale amenajărilor hidrotehnice au constituit un alt punct de discuţie privitor la defalcarea pe utilizări a cheltuielilor în energetică.

Punctul de vedere general în această problemă a fost că creşterea rapidă a necesarului de apă şi luarea în exploatare treptată a amplasamentelor celor mai avantajoase impun construirea de amenajări complexe, al căror cost ridicat nu poate fi suportat de un singur beneficiar. Pe de altă parte, aceste amenajări prezintă pe ansamblu o eficienţă sporită în raport cu soluţiile individuale separate. Aceste împrejurări justifică o repartizare a costurilor asupra tututor beneficiarilor, spre a se obţine o rentabilitate raţională.

În Japonia se utilizează, printre altele, două metode de repartizare a costurilor (4.3—164), prin care se determină, pentru fiecare dintre componentele complexului, două costuri : costul unei soluţii alternative echivalente ca efect şi investiţia care poate fi justificată prin beneficiile obţinute.

În raportul 4.2—150 (Elveţia) se prezintă o sinteză a principalelor probleme pe care le pune realizarea amenajărilor hidrotehnice cu folosinţe

multiple. Se dau indicaţii asupra modului de determinare a beneficiului şi cote de investiţii care revin principalelor folosinţe şi se recomandă ca, pe lîngă beneficiile directe, să fie luate în considerare şi beneficiile indirecte realizate.

4. În încheierea trecerii sumare în revistă a unor dezbateri ce au acoperit un domeniu atît de vast, de complex şi cu rezonanţe atît de actuale ca cel ce abordează problemele prognozelor, ale optimizărilor celor mai diverse şi ale evaluărilor economice, este necesar a sublinia probleme care, ca urmare a dezbaterilor, au fost propuse spre aprofundare sistematizată în cadrul colaborării internaţionale:

— Continuarea cercetărilor asupra metodelor de prognoză pentru a putea pune la dispoziţie, în special ţărilor mai puţin dezvoltate, o informaţie practic nouă, care ar urma să rezulte şi de care acestea au nevoie.

— Definirea în mod mai riguros decît pînă în prezent a unui sistem de concepte adecvate privind fiabilitatea şi avînd un raport cu aceasta.

Diviziunea 5

## Implicaţiile economice şi sociale ale îmbunătăţirii utilizării energiei

E. Costin *)

Tema diviziunii a 5-a a făcut obiectul a 17 rapoarte şi 20 de intervenţii în cadrul şedinţei tehnice.

Interdependenţa ce există între dezvoltarea economică şi socială şi dezvoltarea consumurilor energetice a fost ilustrată cu exemple foarte variate, atît din ţări industrializate cît şi din ţări în curs de dezvoltare. A fost subliniată îndeosebi influenţa şi rolul motor al creşterii consumului de energie electrică, factor important în influenţarea modificărilor structurale ale societăţii.

În Italia (raportul 5.1—162), consumul de energie electrică se află într-o strînsă corelaţie cu dezvoltarea industrializării, orientată asupra unor ramuri mari consumatoare de energie: energia electrică, siderurgia, chimia.

În România (5.1—225), consumul de energie electrică în industrie este preponderent, iar dotarea electroenergetică a muncii cunoaşte ritmuri deosebite: consumul de energie electrică raportat la un muncitor din industrie a sporit de la 4780 kWh în 1960 la 11768 kWh în 1969. Aceste elemente, combinate cu orientarea amplasării instalaţiilor industriale şi energetice, au determinat folosirea judicioasă a forţei de muncă, îmbunătăţirea structurii sociale a populaţiei, construirea de noi locuinţe, dezvoltarea activităţii culturale.

Aceleaşi efecte pot fi constatate şi în dezvoltarea economică a unor ţări cum sînt Camerun şi Zair, în care rolul motor al energiei electrice în dezvoltarea economică l-a condus pe A. Ligouzat (Franţa) la afirmaţia că în această parte a Africii asistăm la începutul unei adevărate revoluţii industriale şi economice.

În Iran, ţară cunoscută prin importanţa resurselor sale petroliere, în perioada 1960—1969 produsul social total a crescut cu o medie anuală de 7,93 %, venitul naţional cu 7,65 %, în timp ce venitul creşterii producţiei de energie electrică a fost de 14,7 % (5.2. — 188).

Un domeniu în care introducerea electrificării se manifestă printr-o ameliorare însemnată a condiţiilor economice şi sociale este electrificarea rurală. Această problemă, tratată în raportul 5.2.—217, a fost subliniată de L. Konan (Coasta de Fildeş), care a insistat asupra dificultăţilor în calea dezvoltării electrificării în ţările în curs de dezvoltare, propunînd crearea unui comitet însărcinat cu studiul problemelor puse de electrificarea rurală.

Efecte favorabile importante asupra dezvoltării economice şi sociale are şi creşterea consumului diverselor tipuri de energie, fapt subliniat de un raport al Consiliului de Ajutor Economic Reciproc (5.1.—234), care arată că în perioada 1961—1969 ponderea producţiei ţărilor membre ale CAER în totalul producţiei mondiale a crescut după cum urmează:

| | |
|---|---|
| cărbune | — de la 28,5 % la 33,7 %; |
| ţiţei | — de la 15,3 % la 16,6 %; |
| gaze naturale | — de la 11,7 % la 21 %; |
| energie electrică | — de la 17,6 % la 20,4 %. |

Puterea totală instalată în centralele electrice din ţările membre ale CAER a fost în anul 1969 de peste 200.000 MW, cu o producţie anuală de energie electrică de aproape 921.000 GWh.

Situaţia geografică specială a Indoneziei, al cărei teritoriu este compus din 13600 insule, este legată de particularităţile energeticii acestei ţări: o treime din necesităţile sale în energie este acoperită de produse petroliere, al căror consum a crescut sensibil mai repede decît consumul energetic total (5.2.—153). Pentru viitor se fac eforturi importante pentru a rupe cu tradiţia economică a trecutului şi a atrage în circuitul economic 85 % din populaţie care locuieşte în zonele rurale.

Reconstruirea vieţii economice din India pe o bază nouă a fost uşurată de folosirea intensă a energiei sub diferite forme, mai ales în regiunile care dispun de surse de energie primară, după cum arată raportul 5.2—209. Fenomenul de transformare este deocamdată mai pronunţat la oraşe. În zonele rurale trebuie create industrii locale pentru absorbirea disponibilităţilor de forţă de muncă.

*) Emil Costin este inginer proiectant la I.S.P.E. A fost secretar al diviziunii a 4-a la cea de-a 8-a Conferinţă Mondială a Energiei.

În cursul conferinței au fost prezentate puncte de vedere referitoare la anumite implicații economice și sociale specifice pe care le are îmbunătățirea utilizării energiei în funcție de condițiile particulare ale unor țări. În acest sens, două țări — Polonia și Nepalul — au prezentat aspecte diferite ale aceleiași probleme : producerea energiei electrice și optimizarea acesteia, plecînd de la o singură sursă principală de energie primară.

În cazul Poloniei, această singură sursă este corbunele brun. Orientarea energeticii asupra acestei surse a impus stabilirea unei corelări pe plan național a extragerii, transformării și transportului cărbunelui. În viitor, însă, dezvoltarea energeticii va impune și în Polonia luarea în considerare a energeticii nucleare, volumul important de importuri legat de aceasta trebuind să fie acoperit printr-un export echivalent (5.1.—183).

În cazul Nepalului, unica sursă de energie este energia hidraulică, din al cărei potențial economic exploatabil, apreciat la circa 20.000 MW, este astăzi amenajată o cotă sub 1,5 % (circa 29 MW). Utilizarea mai intensă a acestei surse ar putea fi legată de sporirea exportului în India și de sporirea consumului intern de energie electrică prin crearea de noi industrii consumatoare.

Modificările pe care optimizarea bazei energetice le implică în domeniul economic și social sînt în bună măsură legate de căile acestor optimizări. Punctul de vedere exprimat de Iugoslavia este că optimizarea regională a folosirii energiei într-o țară trebuie orientată la impactul maxim asupra dezvoltării generale sociale. De aceea, drept criteriu de optimizare trebuie adoptată rata creșterii, precum și modul de distribuire a venitului național, în locul cunoscutului criteriu al cheltuielilor minime (5.1.—182).

Problemele optimizării bazei energetice în corelare cu avantaje posibile economice și sociale fac obiectul unor preocupări deosebit de răspîndite, fie că este vorba de semnalarea necesității de a ține seamă de restricțiile impuse de dezvoltarea obiectivelor sociale cu ocazia minimizăriic heltuielilor legate de cererile de energie (L. Strech — Marea Britanie), fie că este vorba de orientări spre evaluarea economică a efectelor poluării (R. Fort — Franța), sau de alte situații, ca : sugestia lui A. Robin (Franța) că încălzirea electrică prin scăderea pierderilor datorită posibilității optimizării reglajului ar putea conduce la economii importante de energie primară în raport cu alte procedee de încălzire ; propunerea de a introduce diferențieri tarifare după cantitatea de energie consumată, în scopul economisirii energiei (C. Spaerman — Marea Britanie).

Este demnă de semnalat afirmația făcută de D.C. Ion (Marea Britanie), că petrolul este și va rămîne încă pentru foarte multă vreme o sursă importantă de energie.

Unul dintre efectele acestei orientări este subliniat de L. Forster : în Marea Britanie au fost închise numeroase mine de cărbune, numărul minerilor scăzînd de la 700 000 în 1950 la 300 000 în prezent.

După cum rezultă și în urma dezbaterilor, una dintre condițiile principale impuse ameliorării utilizării energiei, din punctul de vedere social, este cea legată de influența exercitată de energetică asupra mediului ambiant, fie că este vorba în mod direct de poluare, fie că ne referim la deteriorarea mediului sau estetica peisajului. Aceste probleme, după cum au subliniat și raportorii generali, N. Gheorghiu și A. Schwfelberg (România), constituie în prezent o preocupare tot mai accentuată pentru omenire, devenind în același timp un factor restrictiv în soluțiile preconizate pentru instalațiile energetice.

Problema poluării prezintă aspecte specifice în cazul utilizării produselor petroliere sau a combustibililor solizi (5.1.—123 și 5.1.—138) însă, după cum a subliniat D.C. Ion (Marea Britanie), industria petrolului nu reprezintă factorul nociv cel mai important, eforturile făcute de această industrie pentru conservarea mediului fiind notabile.

Conservarea esteticii peisajului (5.1.—78) și deteriorarea mediului necesită eforturi din partea energeticienilor sub multiple aspecte. Dacă construirea uvrajelor hidroenergetice este mai degrabă un factor de ameliorare (A. Robin — Franța), chiar și modul de dezvoltare a rețelelor de înaltă tensiune trebuie tratat din punctul de vedere al conservării mediului natural, utilizarea de tensiuni superioare, care reduce numărul liniilor, precum și extinderea utilizării cablurilor subterane înscriindu-se printre măsurile preconizate de J. Smith (S.U.A.) în sensul conservării mediului. M. Shepheard (Marea Britanie) a prezentat o listă a criteriilor de luat în considerare la amplasarea marilor instalații energetice, în care conservării locurilor față de efectele nocive ale poluării i se rezervă un loc important.

Pe aceeași linie se inscriu măsurile și soluțiile aplicate pentru înlăturarea efectelor nocive și dăunătoare create de exploatările miniere, în special în cazul extracțiilor la zi. H.E. Collins (Marea Britanie) și G. Piske (R.D. Germană) au arătat că terenurile afectate de aceste extracții sînt redate circuitului social, uneori în condiții ameliorate.

În sfîrșit, importanța problemei interacțiunii dintre energie, factorul demografic și mediul înconjurător, subliniată și de J. Darmstadter (S.U.A.) poate fi apreciată mai aproape de adevărata sa valoare dacă se ține seamă de faptul că aceasta va fi o problemă majoră a următoarei Conferințe Mondiale a Energiei.

# Problemele de fiabilitate în preocupările celei de-a VIII-a Conferințe Mondiale a Energiei

V. I. Nitu *)

La sesiunea parțială a Conferinței Mondiale a Energiei desfășurată la Tokyo în anul 1966, deși n-a cuprins în tematica sa problemele de fiabilitate, aceste probleme au intrat pe neașteptate în centrul atenției participanților ca urmare a comunicării făcute de W. Cisler asupra avariei petrecute în sistemul energetic al S.U.A. în octombrie 1965.

Rapoartele prezentate la a VII-a sesiune a CME, desfășurată în 1968 la Moscova, au tratat pe larg problemele de siguranță, ocupîndu-se în special de criteriile de dimensionare a sistemului energetic.

Recenta Conferință Mondială a Energiei, desfășurată la București, marchează un pas înainte în această direcție. Concepția de fiabilitate este acum în linii mari conturată, numeroși cercetători susținînd necesitatea creării unui sistem informațional la care să participe mai multe țări, a organizării unui larg schimb de experiență în problemele de fiabilitate.

În cele ce urmează se prezintă principalele idei expuse în rapoarte sau în timpul intervențiilor.

În R.D.G. (referat 4.2 — 147), calculul siguranței alimentării cu energie electrică se face pe baza unei metode probabilistice. Această metodă se poate aplica sistemelor energetice interconectate. Este foarte interesant de aflat reducerile de putere în cazul unui defect, pagubele rezultate la consumator ca urmare a unei reduceri a puterii livrate și a gradului de fiabilitate a sistemului.

Pentru fiecare element al sistemului se definește frecvența și durata unui defect. Intensitatea de avariere, $h$, reprezintă numărul mediu de defecte ale elementelor unui sistem pe an. Aceasta este o valoare statistică medie a numărului de defecte ale unei cantități de elemente identice, observate pe o perioadă îndelungată de timp

$$h = \frac{Z_n}{m_n}$$

în care

$Z_n$ este numărul de defecte ale unui element considerat într-o perioadă de timp;

$m_n$ — numărul elementelor existente;

$n$ — anul considerat.

Durata defectului unui element ($t_a$) este intervalul de timp dintre momentul producerii defectului și momentul restabilirii condiției de bună funcționare. Duratele de defect fiind foarte diverse, domeniul de variație se împarte în grupe, cărora li se atribuie intensități de avariere. Intensitățile de avariere și duratele de defect se pot determina pe baze statistice. Din punctul de vedere al livrării energiei electrice, consumatorii se împart în consumatori cu pagube definite și cu daune necunoscute în cazul unor întreruperi.

În cazul consumatorilor ale căror daune pot fi evaluate la nelivrarea unei anumite cantități de energie, se poate determina funcția daună/timp de întrerupere. În mod obișnuit această funcție nu este continuă.

Pentru fiecare element echivalent se alcătuiește spectrul frecvență/timp de defect. În calculul de siguranță a alimentării se folosește ca timp de defect intervalul de timp dintre oprirea centralei și restabilirea condițiilor de bună funcționare. Din statisticile de avarie se iau valorile medii pentru duratele de defect, cărora li se repartizează intensități de avariere. Spectrele frecvență/timp de defect pentru elementul echivalent se obțin prin suprapunere.

În concepția consumatorului timpul de întrerupere reprezintă intervalul de timp de la înregistrarea defectului soldat cu o reducere de putere, pînă la reluarea alimentării la plină sarcină. Se alcătuiește un spectru frecvență/timp de întrerupere. Pentru fiecare punct al sistemului se determină spectrul frecvență/timp de întrerupere, prin considerarea spectrelor frecvență/timp de defect ale elementelor echivalente (defectele lor duc la reduceri de putere). Procentul de reducere a puterii este considerat ca parametru rezultant din aceste diagrame.

Reducerea puterii rezultă din înmulțitea lui $\Delta P_u$ cu timpul de întrerupere ($t_u$) și frecvența de producere ($H$). Pentru un timp de întrerupere $t_{u_1}$, reducerea puterii de alimentare este

$$W_{u_1} = \sum_x t_{u_1} H_{x_1} \Delta P_{ux}$$

în care $x$ reprezintă indicele elementului echivalent care cauzează reducerea puterii de alimentare.

Reducerea totală a puterii de alimentare pe an este

$$W_{u\ tot} = \sum_1 W_{u_1}$$

Din funcția pagubă/timp de întrerupere se determină daunele $K_{s_1}$ (cheltuieli de restabilire) corespunzătoare unui timp de întrerupere $t_{u_1}$. Cunoscînd frecvența $H_1$, cu care apare un

* Prof. dr. ing. Vasile I. Nitu este director la I.S.P.E.

astfel de timp de întrerupere, se calculează dauna rezultantă pentru această întrerupere

$$K_{s_1\ res.} = K_{s_1}\ H_1$$

Dauna totală pe durata totală de întrerupere (suma timpilor de întrerupere) este

$$K_{s\ tot.} = \sum_1 K_{s_1} \cdot H_1$$

În continuare, se calculează gradul de siguranţă a alimentării în fiecare punct al sistemului. Gradul de siguranţă (numit, în România, disponibilitatea sistemului) reprezintă raportul dintre timpul de funcţionare şi suma dintre timpul de funcţionare şi timpul de întrerupere.

$$Z = \frac{t_f}{t_f + t_u}$$

Acest calcul se poate face după alcătuirea spectrului frecvenţă/timp de întrerupere.

Gradul de nesiguranţă (indisponibilitate) pentru reducerea puterii livrate, $P_{ux}$, este

$$U_x = \frac{1}{T_b} \sum_1 t_{u_1} \cdot H_{x_1}$$

în care $T_b$ este timpul de lucru considerat, iar indicele 1 reprezintă grupa din spectrul frecvenţă/timp de întrerupere.

Gradul de siguranţă a alimentării cu energie electrică la plină sarcină este

$$Z = 1 - \sum_x U_x$$

Metoda descrisă se poate aplica foarte bine pentru calculul siguranţei alimentării în sistemele energetice de perspectivă. Pentru aceasta, trebuie să fie disponibile toate datele iniţiale, inclusiv funcţiile pagubă/timp de întrerupere pentru elementele echivalente. În cazul planificării unor noi sisteme energetice se face un calcul de optimizare a unei funcţii formată din investiţii iniţiale, cheltuieli de exploatare şi pierderile în cazul unor întreruperi în alimentarea cu energie electrică. Funcţia trebuie să fie minimă.

În cazul cunoaşterii timpilor de defect şi a intensităţilor de avarie, se poate calcula spectrul frecvenţă/timp de întrerupere pentru fiecare punct al sistemului, gradul de siguranţă şi nesiguranţă pentru fiecare punct al sistemului, puterea electrică nelivrată anual, efectele economice ale reducerii puterii livrate, dacă se cunoaşte costul puterii nelivrate.

Metoda a fost aplicată unor cazuri individuale. Se speră ca în viitor să poată fi folosită la conceperea noilor reţele electrice. În intervenţia sa, D. Schaller (R.D.G.) a subliniat importanţa metodei rezultatelor obţinute la aplicarea metodei pentru calculul siguranţei alimentării cu energie electrică.

Supravegherea şi îmbunătăţirea siguranţei în alimentare constituie o sarcină permanentă în exploatare. În momentul actual cea mai importantă caracteristică a alimentării cu energie electrică este continuitatea. De aceea, trebuie să se considere toate soluţiile pentru îmbunătăţirea siguranţei atît din punct de vedere economic cît şi tehnic.

În R.F. a Germaniei se analizează, după cum se arată în raportul 4.2—106, calitatea alimentării cu energie electrică şi modul de obţinere a siguranţei acesteia. Perturbaţiile şi defecţiunile înregistrate în cadrul sistemului energetic sînt sistematizate. Ca urmare a experienţei cîştigate, se trag anumite concluzii în ceea ce priveşte soluţiile de mărire a siguranţei. Evaluarea urmărilor întreruperilor alimentării se face pe baza frecvenţei, duratei şi timpului, precum şi a mărimii, numărului şi importanţei consumatorilor afectaţi. Pierderea de energie la întrerupere se poate ilustra prin kWh nelivraţi. Se caută să se reducă cît mai mult numărul întreruperilor în alimentare. Pentru aceasta trebuie să se găsească cauzele, adică să se analizeze perturbaţiile şi defecţiunile şi apoi să se înregistreze sub formă de date statistice. În acest scop, în R. F. G. s-a înfiinţat în 1957 un grup al VDEW care se ocupă în mod special de înregistrarea tuturor defecţiunilor semnalate la fiecare sistem, cu caracteristicile lor şi interdependenţa dintre ele. Aceste statistici dau posibilitatea obţinerii unei clasificări a cauzelor reale ale defecţiunilor. Se face o analiză a cazurilor individuale, folosind un cod numeric. Anual, se fac comparaţii între diferitele sisteme, între echipamentele principale şi între metodele de exploatare aplicate. Rezultatele analizelor anuale sînt publicate. Ele cuprind criterii de înregistrare a defecţiunilor şi pagubelor şi unele concluzii asupra comportării în exploatare a diferitelor echipamente. În raport se arată rezultatele obţinute la urmărirea unor echipamente electrice. Aceste rezultate se dau sub formă de grafice, avînd în ordonată numărul de întreruperi şi în abscisă anul de referinţă.

Aceste statistici indică proiectantului şi personalului de exploatare care sînt direcţiile de îmbunătăţire a disponibilităţii centralei şi a siguranţei în alimentare. Întreprinderile furnizoare de echipament trebuie să primească sugestii de la personalul de exploatare în ceea ce priveşte căile de obţinere a unei siguranţe ridicate în funcţionare. Statisticile pun în evidenţă punctele slabe ale concepţiei instalaţiei.

Siguranţa în alimentare depinde nu numai de o proiectare atentă a sistemului şi echipamentului, ci şi de organizarea adecvată a exploatării. Personalul de exploatare trebuie să cunoască capacitatea de transmitere a sistemului şi posibilităţile de apariţie a unor greşeli în

părţile individuale ale sistemului, să fie pregătit continuu pentru a face faţă oricăror situaţii ivite în exploatare.

Siguranţa în funcţionare a sistemului este în mare măsură şi funcţie de fiabilitatea centralelor electrice. Autorii prezintă şi o schemă a măsurilor ce trebuie luate în cazul unei defecţiuni mari, soldată cu scăderea frecvenţei în reţea (fig. 1). De asemenea, se indică manevrele de executat în schemele electrice ale centralelor, funcţie de scăderea frecvenţei.

În figura 2 autorii prezintă posibilităţi de alimentare a serviciilor proprii ale centralei în cazul unor perturbaţii. Măsurile de siguranţă luate exclud posibilitatea unei nealimentări adecvate a serviciilor interne.

În viitor se vor folosi calculatoare de proces pentru supravegherea siguranţei sistemului, determinarea mai rapidă a elementelor supraîncărcate şi a efectelor pe care le-ar putea avea defectarea lor, prin simulări. Prezenţa calculatorului va împiedica apariţia unor suprasarcini în cazul schimbării condiţiei de exploatare a sistemului.

În unele rapoarte se prezintă diverse metode de calcul al siguranţei în funcţionare. Întîi se definesc noţiunile necesare realizării acestor calcule.

În raportul 4.2—146, autorii definesc noţiunea de disponibilitate ca fiind intensitatea de folosire a unei instalaţii în timpul unei perioade de referinţă. Disponibilitatea unei instalaţii indică gradul ei de siguranţă şi poate fi influenţată prin mai mulţi factori:

a — putere, proiectare, execuţie, construcţie;
b — exploatare;
c — întreţinere.

O dată pusă în funcţiune, instalaţiei i se poate mări disponibilitatea prin reducerea numărului

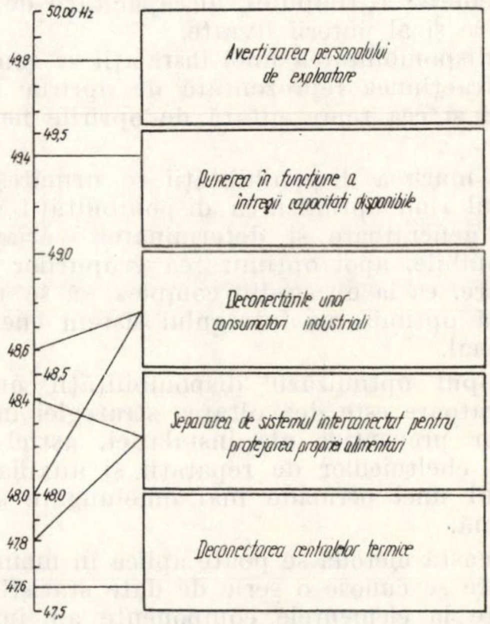
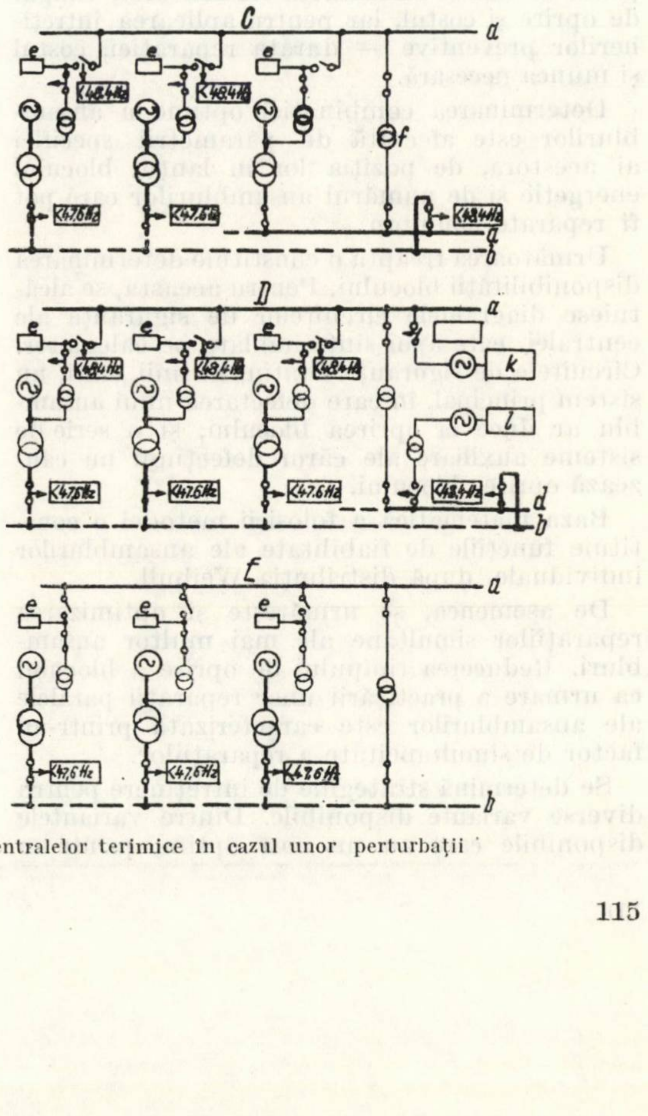



Fig. 1. Măsuri luate în cazul unor avarii importante. (Plan funcţie de frevenţă).




A — alimentare de la o centrală vecină; B — turbogenerator auxiliar; C — alimentare de la o unitate adiacentă ($P_3 < P_1$, $P_2$); D — turbogenerator cu gaz cu pornire rapidă sau grup Diesel; E — alimentare auxiliară legată de unitate; a — bară de pornire; b — sistem interconectat; c — bară pentru alimentarea de rezervă; d — bara centralei; e — alimentarea sistemelor auxiliare; f — transformator de rezervă; g — centrală vecină; h — turbo generator auxiliar; i — transformator auxiliar; k — grup Diesel; l — turbogenerator cu gaz.

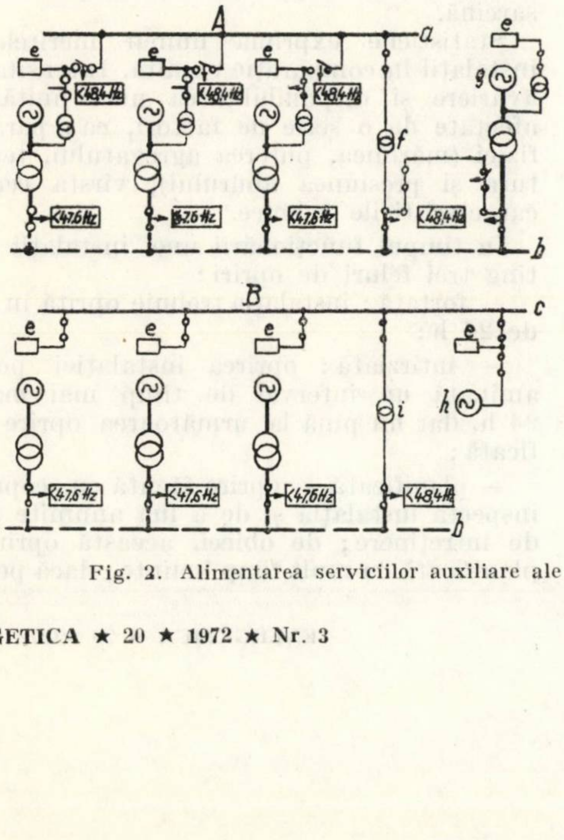



Fig. 2. Alimentarea serviciilor auxiliare ale centralelor terimice în cazul unor perturbaţii

defecțiunilor și printr-un regim optim de reparații.

Autorii propun definiții-standard pentru disponibilitate. Dispobinilitatea este utilizarea posibilă a capitalului de bază al unei centrale electrice, independent de sistemul electric. Disponibilitatea poate fi considerată din trei puncte de vedere : al timpului, al capacității de funcționare și al puterii livrate.

Indisponibilitatea unei instalații se compune din fracțiunea reprezentată de opririle planificate și cea reprezentată de opririle neplanificate.

În mărirea disponibilității se urmărește în primul rînd optimizarea disponibilității unităților generatoare și determinarea variantelor disponibile, apoi optimizarea grupurilor generatoare, ca la un stadiu complex să se urmărească optimizarea întregului sistem energetic național.

Scopul optimizării disponibilității unității generatoare este dezvoltarea strategiei întreținerilor preventive ale instalației, astfel încît suma cheltuielilor de reparații și auxiliare în timpul unei perioade mai îndelungate să fie minimă.

Această metodă se poate aplica în momentul în care se cunosc o serie de date statistice cu privire la elementele componente ale instalației. În acest scop, blocul energetic se împarte în elemente pentru care, în cazul unei defecțiuni, se cunosc fiabilitatea elementului, timpul de oprire și costul, iar pentru aplicarea întreținerilor preventive — durata reparației, costul și munca necesară.

Determinarea combinației optime a ansamblurilor este afectată de parametrii specifici ai acestora, de poziția lor în lanțul blocului energetic și de numărul ansamblurilor care pot fi reparate simultan.

Următoarea treaptă o constituie determinarea disponibilității blocului. Pentru aceasta, se alcătuiesc diagramele circuitelor de siguranță ale centralei, care apoi sînt simulate pe calculator. Circuitele de siguranță conțin, în linii mari, un sistem principal, în care defectarea unui ansamblu ar duce la oprirea blocului, și o serie de sisteme auxiliare ale căror defecțiuni nu cauzează oprirea blocului.

Baza matematică a folosirii metodei o constituie funcțiile de fiabilitate ale ansamblurilor individuale, după distribuția Weibull.

De asemenea, se urmărește și optimizarea reparațiilor simultane ale mai multor ansambluri. Reducerea timpului de oprire a blocului ca urmare a practicării unor reparații paralele ale ansamblurilor este caracterizată printr-un factor de simultaneitate a reparațiilor.

Se determină strategiile de întreținere pentru diverse variante disponibile. Dintre variantele disponibile care au un cost optim, printr-un model de optimizare a blocului se determină varianta cea mai bună.

Din variantele obținute, se determină combinarea tuturor blocurilor care pot asigura cheltuieli actualizate minime pentru o perioadă de zece ani. Metoda se bazează pe o schimbare sistematică a variantelor disponibile pentru centrale. Criteriul de introducere a unei variante în calcul este îndeplinirea caracteristicilor de sarcină cu cheltuieli mai reduse decît precedenta.

După terminarea calculului se afișează combinația optimă a variantelor disponibile. Metoda recurge, deci, la un calcul tehnico-economic pentru determinarea soluțiilor optime într-o perioadă de perspectivă. Această metodă a fost introdusă pe scară largă în R.F. a Germaniei.

Siguranța în funcționare a unei instalații nu constituie o caracteristică intrinsecă, deoarece este influențată de mulți factori, ca : vîrsta și mărimea instalației, regimul de funcționare, calitatea funcționării, durata întreținerilor și hotărîrile luate cu privire la durata folosirii ei.

În raportul 4.2—43, autorii fac propuneri de definire a unor noțiuni folosite la calculul siguranței în funcționarea instalațiilor. Terminologiile și metodele folosite în diferite țări sînt foarte diverse și de aceea se simte nevoia adoptării unui limbaj comun.

Conceptele fundamentale care interesează sînt : fiabilitatea, defectele care reduc capacitatea instalată și disponibilitatea.

Autorii definesc fiabilitatea ca proprietatea instalației de a funcționa la parametrii din contract ori de cîte ori este nevoie.

Înregistrarea performanțelor unui echipament se face pe baze statistice. Rezultatele statistice obținute pe o perioadă de un an sînt comparate.

Alcătuirea unei baze statistice de date trebuie să demareze în momentul în care instalația s-a dovedit capabilă de a funcționa la plină sarcină.

Statisticile exprimă numai meritele unei instalații în comparație cu alta. Intensitatea de avariere și disponibilitatea unei unități sînt afectate de o serie de factori, ca : parametrii fizici (mărimea, puterea agregatului, temperatura și presiunea aburului), vîrsta centralei, caracteristicile tehnice.

În timpul funcționării unei instalații se disting trei feluri de opriri :

— forțată : instalația trebuie oprită în decurs de 24 h ;

— întîrziată : oprirea instalației poate fi amînată un interval de timp mai mare de 24 h, dar nu pînă la următoarea oprire planificată ;

— planificată — oprire făcută cu scopul de a inspecta instalația și de a lua anumite măsuri de întreținere ; de obicei, această oprire este planificată cu mult timp înainte ; dacă perioada

prevăzută pentru o oprire planificată este depășită, atunci diferența de timp se adaugă opririlor întîrziate.

Reducerea cantității de energie electrică livrată pe o perioadă de timp $y$ este egală cu $P_N(1-z)_y$, în care $z$ este raportul dintre puterea în funcțiune și cea nominală. Timpul echivalent de oprire $(1-z)_y$ se adaugă duratei opririlor neplanificate.

Durata unei defecțiuni se consideră intervalul de timp în care instalația nu este capabilă să livreze energia electrică. Se consideră perioadă de defect și dacă în momentul reparației nu se cere livrarea unei cantități de energie. Starea de defect ia sfîrșit în momentul în care instalația este din nou capabilă să funcționeze la plină sarcină.

Duratele de reparații necesare sînt foarte diverse. De aceea se propune ca durata-standard a unei săptămîni în care se prestează reparațiile să fie de 80 de ore. Pentru compararea statisticilor din diferite unități, rezultatelor li se aplică un coeficient de corecție funcție de 80 h. Astfel, se obține o durată de reparație echivalentă.

Pentru o instalație sînt necesare, ca date de bază: perioada de observație, timpul de funcționare, timpul în rezervă, durata opririlor forțate, întîrziate și planificate în timpul echivalent de defect.

Compararea performanețelor operative ale diferitelor unități se face pe baza unor coeficienți numerici medii, obținuți din datele statistice, funcție de timp sau energie. Pentru evaluarea siguranței în funcționare a unei instalații se folosesc criterii funcție de timp. Pentru o evaluare economică a rezultatelor în sistem se folosesc statistici funcție de energie.

Criteriile funcție de timp folosite se exprimă sub forma unor intensități și coeficienți. În primul rînd se stabilesc performanțele instalației sub formă de intervale de timp:

| | |
|---|---|
| — perioada de observație | $T = T_s + T_r + T_x$ |
| — timpul de funcționare | $T_s$ |
| — timpul în rezervă | $T_r$ |
| — timpul de oprire | $T_x = T_{x1} + T_{x2} + T_{x3} + T_{x4}$ |
| — timpul de oprire forțată | $T_{x1}$ |
| — timpul de oprire întîrziată | $T_{x2}$ |
| — timpul de oprire planificată | $T_{x3}$ |
| — timpul echivalent de oprire | $T_{x4}$ |
| — numărul pornirilor în perioada de observație | |
| — numărul opririlor forțate | |
| — numărul opririlor întîrziate | |

Criteriile de timp necesare sînt:

| | |
|---|---|
| — coeficientul de utilizare a puterii în funcțiune | $\frac{T_s}{T}$ |
| — coeficientul de utilizare a puterii instalate | $\frac{\text{energia livrată în mod red. [MWh]}}{\text{puterea [MW]} \times \text{perioada de observație}}$ |
| — intensitatea opririlor forțate | $\frac{T_{x1}}{T_s + T_{x1}}$ |
| — intensitatea opririlor întîrziate | $\frac{T_{x2}}{T_s + T_{x2}}$ |
| — coeficientul de opriri forțate | $\frac{T_{x1}}{T}$ |
| — coeficientul de opriri întîrziate | $\frac{T_{x2}}{T}$ |
| — coeficientul de opriri planificate | $\frac{T_{x3}}{T}$ |
| — coeficientul de disponibilitate | $1 - \frac{T_x}{T}$ |
| — frecvența | |

Pentru statisticile funcție de energie, criteriul de bază este raportul dintre pierderea totală de energie și energia care ar fi putut fi livrată. Această relație poate fi exprimată astfel:

$$\text{deficiența} = \frac{\Sigma P_x \ T_x}{P_N \ T}$$

în care

$T_x$ este numărul de ore în care instalația funcționează cu un defect de putere;

$P_x$, $T$ — numărul total de ore;

$P_N$ — puterea netă maximă.

Toate defecțiunile, și cele din cauze externe și cele soldate cu reduceri de putere, sînt incluse în definiția deficienței. Disponibilitatea sistemului poate fi definită atunci ca 1 minus deficiența.

Criteriile descrise se referă la performanțele unei centrale într-o anumită perioadă de timp. Totuși, nu se pot trage concluzii asupra comportării instalației în condiții de suprasarcină.

Definițiile prezentate în acest raport conduc la o uniformitate în ceea ce privește considerarea intensităților de avariere și a disponibilității.

Acest raport face propuneri de definiții și metode în ceea ce privește disponibilitatea, a căror uniformizare pe plan internațional ar ușura compararea diverselor soluții. Se propun, de asemenea, coeficienții care trebuie calculați în compararea performanțelor diverselor centrale, principalele criterii folosite pentru planificarea sistemului și alegerea centralei, factorii principali care influențează randamentul și siguranța în funcționare a centralei. Preocupări de viitor în această direcție ar fi: uniformizarea conceptelor despre disponibilitate, realizarea unor standarde acceptate pe plan internațional și metode comune în definirea fiabilității unor instalații (W.B. Shamon).

În raportul 4.2—227, autorii propun ca alegerea variantei optime economice de dezvoltare a unei instalații energetice să se facă ținînd cont de condițiile de siguranță în funcționare impuse de consumatorul de energie.

Pentru analiza siguranței în alimentare se definesc o serie de noțiuni din teoria generală a fiabilității.

Funcționarea unui complex se caracterizează prin două stări : starea de succes (toate condițiile de funcționare sînt îndeplinite) și starea de insucces. Siguranța în funcționare poate fi definită de probabilitatea stării de succes a sistemului. Variabilele acestei funcții sînt timpul și comportarea posibilă a sistemului.

Metoda dezvoltată în România propune ca date de bază următorii indicatori numerici, luați pentru un interval de timp dat : durata medie probabilă de funcționare neîntreruptă a complexului ; durata medie probabilă de defect ; durata totală medie probabilă de succes ; durata totală medie probabilă de refuz ; numărul mediu probabil al defectărilor ș.a. Cu ajutorul acestor indicatori de siguranță se pot aprecia consecințele economice ale unor întreruperi.

Informația necesară efectuării calculelor de determinare a acestor indicatori diferă în funcție de modelarea matematică adaoptată pentru fenomen. Metoda de studiu stabilește parametrul care va caracteriza elementul. În România se consideră că elementele sînt caracterizate prin coeficientul de indisponibilitate $q$ [%], intensitate de avariere $\lambda[s^{-1}]$ și intensitatea de reparare $\mu[\delta^{-1}]$.

În cazul distribuției exponențiale a timpului de funcționare fără defecțiuni și a timpului de reparație, $\lambda$ și $\mu$ au expresiile :

$$\lambda = \frac{1}{T_f} = \frac{n}{\sum_{j=1}^{n} T_f^j} [T^{-1}]$$

$$\mu = \frac{1}{T_d} = \frac{n}{\sum_{j=1}^{n} T_d^j} [T^{-1}]$$

$$q = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}$$

(intervenție făcută de H. Albert — România).

O problemă foarte dificilă este evaluarea pagubelor rezultate în urma energiei nelivrate. Efectele economice sînt determinate pe baza energiei nelivrate (lei/kWh nelivrat). Aceste efecte sînt foarte mari. De aceea se face analiza fiabilității sistemului, care pune în evidență în ce măsură este asigurată continuitatea în alimentarea consumatorilor amplasați în diferite noduri ale rețelei.

Pentru stabilirea siguranței în funcționare, în etapa studiului sistemului energetic se utilizează în mod curent metoda binomului (după Calabrese), prin care se determină indicele de risc rezultat în cazul diferitelor variante de puteri instalate.

În cazul unor scheme mai complexe se utilizează o metodă în care funcționarea în timp a complexului este descrisă de un proces stocastic de tip Markov. Modelarea funcționării se realizează prin procese Markov staționare. Această analiză este importantă pentru aprecierea mai corectă a indicatorilor de siguranță a grupurilor în vederea introducerii lor în calculul efectuat pentru ansamblul blocului.

Pentru caracterizarea siguranței în funcționare a centralelor electrice din configurația unui anumit sistem, se folosesc următorii indicatori numerici de siguranță :

— asigurarea cu energie electrică

$$S = \frac{E_{necesară} - E_{nelivrată}}{E_{necesară}} \cdot 100$$

— probabilitatea $P\{P_{disp.} \geqslant P_{vîrf}\}$ ca puterea disponibilă să fie mai mare sau cel puțin egală cu puterea maximă de vîrf.

Valorile optime ale acestor indicatori de siguranță se stabilesc prin calcule de eficiență economică, pe baza comparării daunelor provocate de întreruperi. Se folosește o funcție de eficiență care cuprinde cheltuielile de calcul al variantelor, legate de mărinea puterii de rezervă pentru avarii, și anume :

— cheltuieli anuale legate de investiția în puterea de rezervă pentru avarii ;

— cheltuieli prin daunele datorate energiei nelivrate anuale în urma avarierii agregatelor ;

— economia de cheltuieli de exploatare prin îmbunătățirea consumului specific, datorită înlocuirii de către puterea suplimentară de rezervă a unor grupuri de puteri unitare mai mici și consumuri specifice mai mari.

Funcția de eficiență are forma

$$Z = pI + d_e E_d - \Delta C_b$$

în care

| | | |
|---|---|---|
| $Z$ | reprezintă | cheltuielile anuale de calcul ; |
| $p$ | — | coeficientul normat al eficienței investițiilor, egal cu 0,1 pentru $T = 10$ ani ; |
| $I$ | — | investițiile în puterea de rezervă ; |
| $d_e$ | — | daunele specifice pentru energia nelivrată ; |
| $E_d$ | — | energia medie anuală probabilă nelivrată în varianta respectivă ; |
| $\Delta C_b$ | — | economia de cheltuieli anuale de exploatare prin îmbunătățirea consumului specific. |

Pentru determinarea valorii optime a rezervelor de putere pentru avarii, se folosește criteriul cheltuielilor anuale de calcul minime, funcție de mărimea rezervei și a costului kWh nelivrate.

În raport se prezintă metoda de optimizare a alimentării unui consumator industrial. Alimentarea unui consumator industrial se realizează la un anumit nod al sistemului energetic, prin legături complexe. Funcționarea conexiunii analizate este descrisă de un proces stocastic de tip Markov. Evenimentele care au loc depind de durata intervalului în care se vor realiza.

Indicatorii numerici caracteristici se obțin din rezolvarea sistemului de ecuații diferențiale

$$P'(t) = P(t)\,[p'_{ij}\,(0)]$$

care definește în mod univoc vectorul stocastic $P(t)$ al probabilităților absolute, dacă se cunosc starea inițială a sistemului și matricea stocastică $[p_{ij}\,(t)]$.

După calcularea probabilităților absolute și strîngerea lor în două mari grupe, succes ($P_s$) și refuz ($P_r$), se pot determina indicatorii numerici doriți :

— probabilitatea stării de succes $P_s = \lim\limits_{t\ \ 0}.\ P_s\,(t) = \sum_{i=1}^{s} P_i$

— probabilitatea stării de refuz $P_r = \lim\limits_{t}.\ P_s(t) = \sum_{i=s+1}^{n} P_i$

— durata totală de succes în intervalul (0, $T$) $M(T) = P_s\,T$

— durata totală de refuz în intervalul (0, $T$) $M(T) = P_r\,T$

— numărul mediu al refuzurilor sistemului în (0, $T$) $M(T) = \sum_{j=1}^{s} P_j \sum_{r=s+1}^{n} p_{ij}\ T$

Calculul poate fi făcut cu ajutorul unui calculator.

Compararea variantelor se face pe baza criteriului cheltuielilor anuale de calcul minime, în care se introduc daunele rezultate din nealimentarea consumatorilor și abaterile de calitate

$$Z = pI + C + Z_{av} + Z_{cal.} + Z_{tch}$$

în care

- $p$ este coeficientul normat de eficiență a investiției ;
- $I$ — valoarea totală a investiției, lei ;
- $C$ — cheltuieli anuale, lei/ an ;
- $Z_{av}$ — cheltuieli anuale de calcul rezultate din nealimentarea consumatorilor ;
- $Z_{cal}$ — cheltuieli anuale de calcul rezultate din abaterile de la calitatea prescrisă ;
- $Z_{tch}$ — cheltuieli anuale de calcul determinate de măsurile luate de consumatori.

În cazul optimizării rețelei de alimentare a unui oraș este necesară compararea tehnico-economică a variantelor care au indicatori de siguranță comparabili, deci optimizarea se face la un nivel de siguranță în funcționare dat.

Caracterizarea unui nod de alimentare a unui consumator, din punctul de vedere al siguranței, se face cu ajutorul unei metode bazate pe modelare prin procese Markov.

Metoda de cercetare a siguranței în funcționare a unei centrale se bazează pe modelarea prin procese Markov. Schema termomecanică și electrică a unui bloc se descompune în circuite de calcul, care constituie elemente-serie pentru schema considerată. În totalitatea elementelor unei centrale formează conexiuni mixte serie-paralel.

Pentru optimizarea rețelelor electrice ale unui sistem energetic, considerînd centralele și liniile sistemului prin parametrii lor caracteristici, se urmărește maximul unei funcții de eficiență care exprimă beneficiul realizat din exploatarea instalației respective. Folosind aceeași metodă bazată pe lanțurile Markov, se determină : durata totală medie probabilă de refuz, numărul mediu probabil de întreruperi, curba clasată a duratelor medii probabile de indisponibilitate forțată a diferitelor niveluri de putere, numărul mediu probabil al indisponibilităților probabile.

Lucrarea pune în evidență importanța gradului de siguranță la determinarea dezvoltării optime a sistemului energetic. Siguranța în funcționare a nodurilor energetice se calculează folosind procesul staționar de tip Markov. Indicatorii numerici care se definesc pe un interval de timp dat sînt : durata medie probabilă de funcționare, durata medie probabilă a defectului, numărul probabil al întreruperilor și factorii economici.

Rapoartele au evidențiat tendința de a modela sistemul energetic și comportarea lui în timp prin modele stocastice ale diferitelor elemente considerate independente. Funcțiile de distribuție ale perioadelor de funcționare sînt de tip exponențial sau Weibull.

În legătură cu eficiența investițiilor pentru sporirea fiabilității, se debzat în rapoarte probleme de evaluare a daunelor economice provocate de întreruperile în alimentare.

Problemele puse în aceste rapoarte privesc propunerile de uniformizare a conceptelor de fiabilitate, crearea unei bănci internaționale de date statistice referitoare la fiabilitatea echipamentelor.

Se cere stabilirea unei metode de calcul destinată optimizării bilnațului energetic, din care să rezulte caracteristicile principale de siguranță.

Într-una din intervenții (V.I. Nitu — România), s-a subliniat importanța introducerii indicelui de fiabilitate în obligațiile contractuale ale furnizorului. De un real folos ar fi realizarea

unor schimburi de experiență în ceea ce privește funcționarea instalațiilor. În aceeași intervenție s-a propus elaborarea unor studii de estimare a pagubelor produse la întreruperea alimentării cu energie electrică și calorică.

În intervențiile pe marginea rapoartelor prezentate s-au emis unele idei interesante. Astfel, Skopec (Polonia) a arătat că puterea maximă a blocurilor este condiționată de disponibilitatea acestora, și nu de relația dintre puterea grupului și a sistemului în ansamblu. Totuși, puterea unitară nu poate fi mărită prea mult, deoarece aceasta este divergentă cu disponibilitatea centralei (Jean Benot — Franța). De exemplu, grupurile de pe palierul de 250 MW (37 grupuri) au disponibilități mai reduse decît cele de 125 MW. Perioada de tinerețe a grupurilor cu putere unitară ridicată este destul de intensă. Influența puterii grupurilor asupra disponibilității poate fi modificată în folosul celei din urmă, prin standardizarea soluțiilor tehnice și printr-un continuu progres tehnic.

Îmbunătățirea disponibilității este o sarcină foarte importantă în cazul centralelor nucleare. Aceste centrale preiau progresiv sarcina de bază, determinînd marile unități să funcționeze în regim variabil de sarcină. Practicarea acestui regim în cazul centralelor termice poate duce la apariția unor indisponibilități suplimentare din cauza șocurilor termice.

Din experiența acumulată în exploatarea centralelor nucleare s-a determinat că disponibilitatea CNE crește monoton pînă în cel de al 6-lea an de exploatare (Siebker Manfred — Marea Britanie), în timp ce la CTE se atinge o valoare constantă după 1—2 ani de la darea în funcțiune. Cauza principală a indisponibilităților înregistrate o constituie partea clasică. Creșterea continuă a siguranței în funcționare se poate realiza prin asigurarea unei calități excepționale a echipamentelor și prin supravegherea atentă a funcționării acestora.

Coeficienții de disponibilitate realizați în centralele nucleare sînt destul de ridicați (în timpul celor zece ani de funcționare, Dresden I — BWR — a realizat 73,4%, iar Yankee-Rowe — PWR — 84,4%).

Din cauza importanței pe care o capătă siguranța în funcționare a centralelor, devin imperios necesară uniformizarea conceptelor de fiabilitate, promovarea unor metode de calcul, introducerea unor standarde internaționale și chiar înființarea unui centru internațional de dirijare a preocupărilor în acest domeniu.

# Poluarea mediului înconjurător de către efluenții centralelor termoelectrice

C. Burducea
și C. Moțoiu *)

## Generalități

Problema poluării mediului este tratată în România cu o deosebită atenție, ținîndu-se seamă, pe de o parte, de ritmul rapid de dezvoltare a industriei, iar pe de altă parte de grija pentru sănătatea populației. Realizarea unor platforme industriale puternice, ca aceea a Combinatului siderurgic Galați, a combinatelor chimice de la Craiova, Brazi, Borzești etc., ca și a unor centrale mari pentru producerea combinată a energiei electrice și a căldurii a determinat aprofundarea problemei poluării mediului de către unii efluenți (bioxidul de sulf, oxizii de azot, cenușa din gazele de ardere evacuate etc.) și luarea unor măsuri de limitare a influențelor nocive ale acestui fenomen. Preocupări similare sînt și în domeniul altor industrii (a materialelor de construcții, petrolieră etc.).

Concentrarea producerii energiei electrice în mari termocentrale de condensație presupune, pe de o parte, consumarea unor cantități importante de combustibil, deci, și evacuarea corespunzătoare de bioxid de sulf și de cenușă, iar pe de altă parte necesități impresionante de apă de răcire a cărei temperatură se ridică, în general, cu circa 10°C la trecerea prin condensatoarele centralei.

Actualitatea problemei poluării produse de instalațiile energetice a format una dintre preocupările speciale ale celei de-a opta Conferințe Mondiale a Energiei, evidențiată atît prin referatele prezentate în cadrul diviziunilor 2, 3 și 5 și prin luările de cuvînt de la ședințele acestor diviziuni, cît și în cadrul mesei rotunde cu tema „Energia și mediul înconjurător'', care a dezbătut problema poluării.

Comitetul ad-hoc constituit de Comitetul Executiv al CME pentru studiul problemelor de poluare a difuzat un raport, iar un număr de 16 specialiști au dezbătut, în prezența unei asistențe deosebit de numeroase, efectele poluării în raport cu condițiile specifice pentru diferite situații și țări.

Procesele de transformare dirijată a energiei implică inevitabil transferarea în mediul înconjurător a unor deșeuri de felul efluenților amin-

*) Dr. ing. Cornel Burducea este director tehnic la I.S.P.E.; ing. Costin Moțoiu este conferențiar la Institutul politehnic București.

tiți, a căror influență nocivă trebuie limitată în așa fel, încît mediul să nu sufere modificări dezavantajoase; în acest scop, industria trebuie să asigure soluții tehnice prin instalații eficiente. În domeniul centralelor electrice se cunosc asemenea realizări, unele aplicate curent, altele încă în curs de cercetare. Alimentarea prin termoficare a consumatorilor marilor aglomerări urbane cu căldură din centrale puternice contribuie considerabil la reducerea nivelului general de poluare ; din acest motiv aplicarea procedeului este interesantă pentru multe țări.

Problema poluării este complexă prin diversitatea efluenților și a domeniului de influență al acestora, ca și prin diversitatea mijloacelor de combatere, astfel încît la scara unei economii naționale este necesară o coordonare a normelor și standardelor specifice domeniului și o precizare a mijloacelor tehnice necesare limitării influențelor asupra mediului înconjurător.

**Poluarea atmosferei**

Limitele maxime admisibile fixate în țara noastră pentru nocivitățile de la centralele termoelectrice sînt, în cazul concentrației de bioxid de sulf la nivelul solului, de 0,25 mg/m$^3$ ca valoare medie zilnică și de 0,75 mg/m$^3$ ca valoare maximă momentană, iar în cazul depunerii de cenușă de 200 t/km$^2$ an.

Pentru limitarea evacuării cenușii în atmosferă, odată cu gazele de ardere, centralele pe cărbune au fost dotate cu electrofiltre cu grad de reținere de peste 98% (la unele peste 99%). S-a constatat că aportul filtrelor mecanice (cicloane) nu este important și s-a renunțat la acestea ca etapă de filtrare grosieră. Au fost construite, de asemenea, coșuri de fum foarte înalte pentru a asigura o dispersie și o diluție suficientă în atmosferă a efluenților. Sînt în funcțiune coșuri înalte de 200 și 220 m, la care s-a urmărit creșterea puterii racordate pînă la aproximativ 700 MW pe un coș, ca și mărirea vitezei de ieșire a gazelor de ardere pînă la 30 m/s.

Aceste măsuri sînt necesare, de altfel, și pentru reducerea poluării datorită emisiei de bioxid de sulf, urmărindu-se totodată, din considerente economice, realizarea unui exces mic de aer la arzătoarele cazanelor. Pentru protejarea betonului coșului împotriva coroziunii acide, se prevede o protecție antiacidă (bazalt artificial sau gresie), realizată pe toată înălțimea activă a coșului, cărămizile respective avînd rosturile din mastic rezistent la acizi. În ultima vreme, la centrale sînt în curs de realizare coșuri înalte prevăzute cu spații de vizitare de circa 60 cm între coaja de beton și îmbrăcămintea interioară de protecție.

La elaborarea calculelor de dispersie a gazelor și a cenușii în atmosferă se iau în considerare elementele meteorologice specifice ale zonei respective și configurația terenului, deoarece există cazuri particulare în care, la centralele amplasate în văi, coloana de gaze nu poate depăși crestele înălțimilor naturale învecinate. Pentru a nu depăși limitele admisibile, în special pentru emisia de bioxid de sulf, se instalează detectoare speciale, pentru ca atunci cînd se atinge limita concentrației maxime aceasta să poată fi redusă prin schimbarea combustibilului la cazane cu un combustibil mai sărac în sulf.

Pentru reducerea emisiei de bioxid de sulf în atmosferă s-ar putea acționa prin mai multe metode, ca : desulfurarea combustibililor, desulfurarea gazelor de ardere la evacuare, desulfurarea gazelor de ardere în cazan prin adaosuri chimice corespunzătoare (dolomită etc.).

În problema desulfurării combustibililor s-au găsit soluții îmbucurătoare la păcură (chiar în procesul de rafinare) și parțial la cărbune (prin preparare și spălare).

Desulfurarea gazelor de ardere la evacuare încă nu a fost rezolvată industrial atît din cauza costurilor ridicate, cît și a dezavantajului răcirii gazelor, iar desulfurarea în focar are inconveniente economice și tehnice mai ales în ceea ce privește influența asupra funcționării electrofiltrelor. În cadrul lucrărilor Conferinței Mondiale a Energiei de la București, problema desulfurării a reprezentat o preocupare majoră atît în rapoarte cît și în discuții. Este necesar ca în viitorul apropiat să se finalizeze tehnic și economic posibilitățile de reducere a emisiei de bioxid de sulf, date fiind cantitățile apreciabile de combustibili lichizi și solizi cu sulf care se ard în centralele electrice.

**Poluarea apei**

Instalațiile energetice pot influența negativ cursurile de apă și apele freatice prin două efecte principale :

— introducerea în apă a unor deșeuri de natură chimică sau radioactive prin intermediul efluenților din instalațiile energetice ;

— încălzirea apei simultan cu reducerea cantității de oxigen dizolvat în apă.

Poluarea chimică este specifică nu numai centralelor electrice, ci tuturor industriilor. Dintre instalațiile energetice, centralele termoelectrice constituie sursele principale de poluare chimică, datorită următoarelor cauze :

— debite limitate de substanțe chimice dizolvate, acizi și baze provenite de la spălarea și regenerarea instalațiilor de tratare chimică a apei ; aceste substanțe apar ca un rezultat sistematic al exploatării, în mod continuu sau periodic la interval de ore ;

— cantități masive de reactivi chimici și detergenți proveniți de la spălarea componentelor circuitului termic și îndeosebi a cazanelor, operații care au loc cu periodicitate de ani ;

— scurgeri de ulei şi de combustibil lichid în canalizarea industrială, provenind de la operaţii de descărcare şi manipulare, din neetanşeităţi sau de la curăţirea periodică a instalaţiilor şi rezervoarelor;

— scurgeri de apă cu leşii, provenite din cenuşă, datorită unor neetanşeităţi ale sistemului de evacuare a zgurii şi cenuşii şi depozitări necorespunzătoare.

Modalităţile tehnice pentru limitarea acestor poluări, cunoscute şi aplicate, se reduc în esenţă la:

— construirea de decantoare pentru nămolurile provenite din instalaţiile de tratare chimică şi eliminarea lor în stare solidă;

— realizarea unui sistem centralizat pentru neutralizarea tuturor efluenţilor proveniţi de la tratarea apei de la întreaga centrală electrică; avînd în vedere importanţa acestei componente a instalaţiei, este nevoie ca ea să fie dimensionată cu rezervă integrală şi dotată cu aparatură perfecţionată de control al funcţionării;

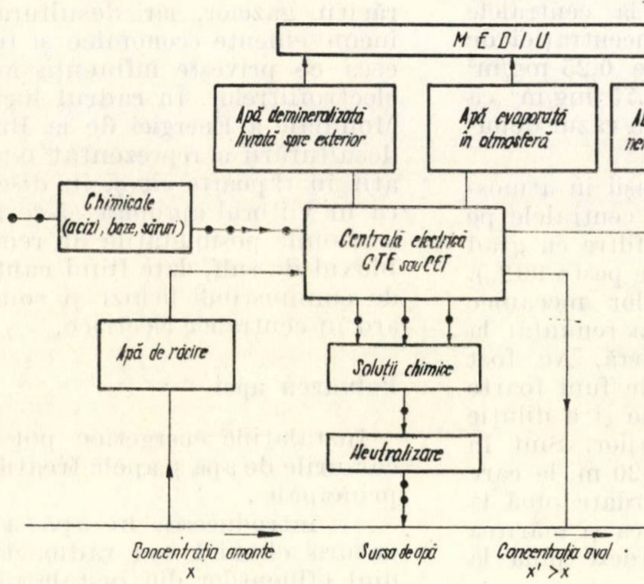


Fig. 1

— realizarea unor instalaţii de reţinere a uleiului din apele reziduale înainte de evacuare în emisar.

Reuşita integrală a măsurilor de antipoluare chimică este condiţionată însă de următorii factori:

— în execuţie: realizarea unei etanşeităţi perfecte a tuturor recipientelor din sistemul de tratare, transport şi stocaj al efluentului; existenţa unor protecţii anticorosive eficiente şi de durată;

— în exploatare: respectarea permanentă a procesului de tratare a efluentului şi controlul permanent al calităţii lui.

Oricum ar fi însă, centrala termoelectrică are ca efect o mărire a conţinutului de săruri al apei alături de care se găseşte amplasată, fapt ce rezultă din bilanţul de masă prezentat în figura 1.

În funcţie de debitul de servitute nefolosit al rîului, creşterea de temperatură a sursei de răcire este de 5—8 grd în cazul răcirii în circuit deschis şi poate depăşi această valoare la răcirea în circuit mixt. În cazul răcirii mixte, datorită faptului că temperatura apei răcite în turnuri este mai ridicată decît temperatura rîului, după cum se vede şi din diagrama amestecului de apă din figura 2, încălzirea apei rîului, Atn, este mai mare decît încălzirea apei în condensator.

Încălzirea apei rîului nu este neapărat o poluare, efectele negative ale acesteia depinzînd de temperatura iniţială a apei şi de impurităţile pe care le conţine (fig. 3).

La rîurile cu temperaturi ridicate în timpul verii, încălzirea produsă de CTE poate dăuna echilibrului biologic şi în special prescuitului în aval de centrală. Dacă apa conţine substanţe organice sau anumite substanţe chimice, ridicarea de temperatură declanşează o serie de

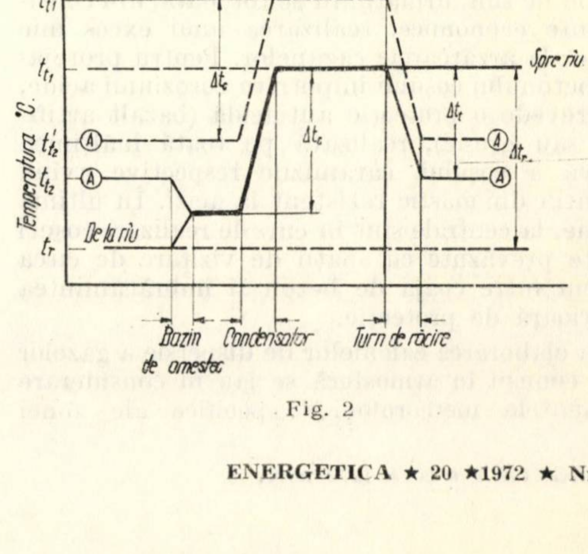


Fig. 2

reacţii de fermentaţie sau reacţii chimice de oxidare, care consumă oxigenul dizolvat în apă. Creşterea în măsură importantă a temperaturii reduce de altfel conţinutul solubil de $O_2$.

Informaţiile transmise în cadrul Conferinţei Mondiale a Energiei, prin luările de cuvînt şi prin filmele prezentate, au pus în evidenţă faptul că în cazul apei curate încălzirea este mult mai puţin dăunătoare. Poluarea termică trebuie deci înţeleasă ca o consecinţă secundară a unor poluări chimice din amonte.

Temperatura ridicată a apei poate fi uneori folosită cu efecte economice pozitive prin:

— dezvoltarea unor specii de peşti cu specific de apă caldă sau a unor culturi de scoici;

— stimularea creşterii plantelor în răsadniţe.

La rîuri cu temperaturi coborîte încălzirea nu constituie o poluare, iar iarna efectele sînt pozitive atît pentru evitarea îngheţului la barajele hidrotehnice, cît şi pentru navigaţie în general.

Temperatura apei rîului se redresează în mod natural datorită schimbului de căldură prin suprafaţa apei. Căderea de temperatură are un caracter exponenţial. Pentru fiecare debit de apă şi pentru fiecare temperatură naturală maximă şi temperatura-limită admisă apare deci o putere electrică maximă ce se poate instala, respectiv o distanţă minimă între centralele termoelectrice, după cum se poate vedea din figura 3. Aceasta a condus, de exemplu, la

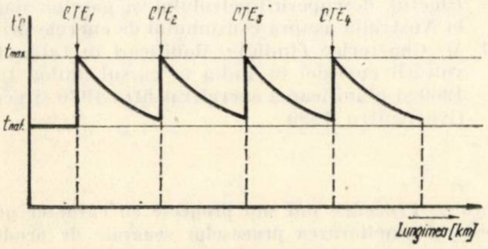



Fig. 3

puncte de vedere de felul celui prezentat de un vorbitor englez, din care reiese că limitarea încălzirii conduce în Anglia la tipizarea unor centrale electrice cu două blocuri de mare putere.

În prezent se poate defini că fiecare curs de apă are un potenţial hidroenergetic şi un potenţial termoenergetic amenajabil în condiţii de răcire în circuit deschis.

Măsurile care pot conduce la reducerea poluării termice a apei rîurilor sînt următoarele:

— izolarea circuitului de răcire de rîu, instalînd turnuri de răcire pentru întreaga putere a centralei; aceste turnuri au o utilizare deosebit de redusă numai în perioade calde şi trebuie deci realizate ca unităţi cu tiraj forţat cu supraîncărcare în debit;

— instalarea de turnuri de răcire pentru reducerea temperaturii apei restituite, deci instalate în serie cu circuitul de răcire al centralei; aceste turnuri au şi rolul de reoxigenare datorită contactului între apă şi aer;

— reoxigenarea apei deversate în rîu prin deversarea peste un deversor înalt, soluţie care s-a dovedit eficace, dar care măreşte consumul de energie de pompare;

— folosirea efectului de acumulare de apă rece în amenajări hidro din amonte de centrala termoelectrică, asigurînd descărcarea apei reci de fund în perioadele de caniculă; este cunoscut efectul de ansamblu de compensare a variaţiilor temperaturii rîurilor datorită acumulărilor; această soluţie are ca efect reducerea pierderilor de apă prin evaporare vara;

— restituirea apei din circuitul de răcire prin mai multe difuzoare care să asigure amestecul rapid al efluentului şi evitarea încălzirilor locale.

**Alte aspecte ale poluării**

Problema zgomotului produs de echipamentele centralei electrice şi de aburul evacuat în anumite situaţii şi-a găsit în oarecare măsură soluţionarea prin utilaje mai silenţioase, prin căptuşiri fonice şi prin instalarea unor amortizoare de zgomot pe eşapările de abur. Deşi există reglementări ale nivelului admisibil de zgomot, este necesar ca, în special în domeniul fabricării echipamententelor energetice, să se aprofundeze mai mult posibilităţile tehnice de reducere în continuare a nivelului de zgomot produs şi, în consecinţă, şi nocivitatea atît asupra personalului de exploatare, cît şi asupra populaţiei din jurul centralei.

Desigur, se mai pot aminti şi alte influenţe ale centralei asupra mediului, cum ar fi efectul vaporilor de la turnurile de răcire condensaţi iarna şi chiar modificarea peisajului zonei respective, asupra acestora putîndu-se interveni însă cu mai multă uşurinţă.

**Concluzii**

Poluarea a devenit în scurt timp una dintre problemele majore ale omenirii. Cu cît o societate se găseşte la un nivel mai ridicat de dezvoltare, produce bunuri materiale mai multe şi consumă o cantitate mai importantă de energie, în consecinţă o cantitate mai mare de combustibil primar, şi poluează mai accentuat mediul înconjurător.

Cu cît o societate este mai dezvoltată, ea trebuie să investească o cotă din ce în ce mai mare din venitul său brut pentru a combate poluarea şi consecinţele acesteia. Altminteri, această dezvoltare poate să demareze procese ireversibile de distrugere lentă a echilibrului din natură şi a vieţii în general.

Fără a exagera, în stadiul actual aceste lucruri nu mai pot fi ignorate. Lupta împotriva poluării necesită un vast program coordonat de cercetare. În România, un asemenea program este înscris între problemele prioritare ale statului, ramurii energetice revenindu-i în această privinţă sarcini majore.

# LISTA RAPOARTELOR PREZENTATE LA CEA DE-A VIII-a CONFERINȚĂ MONDIALĂ A ENERGIEI

*Diviziunea 1.* **Cereri de energie : aspecte noi în dezvoltarea tehnică și economică**

Președinte : *W.H. Connolly, C.B.E.* (Australia)

Vicepreședinți : *A. Galip Mulogan* (Turcia)
*Călin Mihăileanu* (România)

Raportori generali : | *Martin Bercovici* | (România)
*Victor Antonescu* (România)
*Alexandru Mișu* (România)

Secția 1.1. *Industrie*

1.1 — 49 R. Pâquet (Belgia) : Evoluția și tendințele consumului industrial de electricitate în Belgia.

1.1 — 68 J. Chazal, J. Dhuin, J. Bernard (Franța) : Progrese recente în utilizările industriale ale gazelor naturale în Franța. Aspecte tehnice și economice.

1.1 — 98 H. Wagner, W. Munde (R.F.G.) : Problemele economice privind energia și influența lor asupra industriei chimice în Republica Federală a Germaniei.

1.1 — 99 E. Kratzmüller, K.D. Fischer (R.F.G.) : Structura consumului industrial de energie în Republica Federală a Germaniei. Dezvoltări actuale și viitoare.

1.1 — 122 K. Hisada (Japonia) : Consumul de energie la furnalele înalte în Japonia.

1.1 — 125 P.L. Start (Marea Britanie) : Influența progresului tehnologic și a factorilor economici asupra formei de energie utilizată la fabricarea sticlei plate.

1.1 — 200 F. Pietermaat, G. Van Dijck (Belgia) : Tendințe de evoluție a tehnicii electrotermice.

Secția 1.2. *Consumul casnic de energie*

1.2 — 72 O. Todnem (Norvegia) : Încălzirea electrică a localurilor și analiza caracteristicilor sarcinii.

1.2 — 107 H.J. Burchard, H. Streicher (R.F.G.) : Analiza structurii și dezvoltării consumului menajer de energie în Republica Federală a Germaniei.

1.2 — 193 H. Ilberg (Israel) : Consumul de căldură și costul încălzirii imobilelor de locuit.

1.2 — 219 | M. Bercovici |, G. Panaitescu, M. Grăniceanu, E. Costin, V. Caracudovici (România) : Consumul menajer de energie electrică în România.

Secția 1.3. *Centre populate noi sau în dezvoltare rapidă*

1.3 — 29 F. Fuster, R. Darder, E. Escandell (Spania) : Examinarea energetică a unui sistem insular în dezvoltare economică rapidă (Majorca).

1.3 — 69 J. Coq, Y. Durrieu (Franța) : Noi orașe franceze. Alimentarea lor cu energie și gaze.

1.3 — 139 R. Hammer, A. Langner, W. Riesner (R.D.G.) : Optimizarea aprovizionării complexe cu energie a orașelor.

1.3 — 159 T. Takagi, Sh. Saba, K. Kataoka (Japonia) : Miniaturizarea stațiilor de transformare a sectoarelor urbane.

Secția 1.4. *Agricultură*

1.4 — 12 N. Massa, A. Limbruno (Italia) : Progresul dezvoltării rurale și folosirea mai intensă a aplicațiilor electroagricole în Italia.

1.4 — 91 I. Watanabe, K. Ichimura (Japonia) : Stadiul actual și viitorul electrificării agriculturii în Japonia.

Secția 1.5. *Alte domenii (transport, comerț)*

1.5 — 70 L. Guieysse (Franța) : Evoluția necesarului de energie pentru transportul în comun al unui oraș mare și mijloacele tehnice folosite pentru a-l satisface.

1.5 — 104 A. Kniffler (R.F.G.) : Schimbări în aplicațiile și utilizările energiei la căile ferate.

1.5 — 111 A.V. Voronin, L.M. Perzovski (U.R.S.S.) : Schimbări în bilanțul energetic și al combustibilului pentru căile ferate din U.R.S.S. și coordonarea lor cu bilanțul național de energie și de combustibil.

1.5 — 119 Sh. Nakahara (Japonia) : Dezvoltarea vehiculelor electrice în Japonia.

1.5 — 141 T. Kogawa, T. Ishihara (Japonia) : Consumul de energie al căilor ferate naționale în Japonia.

Secția 1.6. *Consumul total de energie*

1.6 — 5 G.M. Sfligiotti (Italia) : Probleme de alimentare cu energie într-o țară industrializată lipsită de resurse energetice indigene. Un exemplu concret : Italia.

1.6 — 27 B.C. Netschert (S.U.A.) : Consumul de energie în S.U.A. Tendințe și grupe de probleme.

1.6 — 156 M.O. Koskinen (Finlanda) : Fluctuații generale ale energiei în Finlanda în 1970.

1.6 — 158 T. Sakon, K. Tomioka (Japonia) : Schimbări în tabloul consumului de energie în Japonia. Tendințe vechi și perspective.

1.6 — 160 Departamentul dezvoltării naționale (Australia) : Efectul descoperirii petrolului și gazelor naturale în Australia asupra consumului de energie primară.

1.6 — 177 M. Chatterjee (India) : Modificări în tabloul dezvoltării energiei în India în cursul anilor 1950 și 1960 și planificarea energiei pentru 1970 și perspective pentru 1980.

*Diviziunea 2.* **Procedee noi sau progrese cu caracter general privind ameliorarea proceselor separate de producere, transport, transformare și consum de energie**

Președinte : *Lord Hinton of Bankside, K.B.E., F.R.S.* (Marea Britanie)

Vicepreședinți : *C. Th. Kromer* (R.F.G.)
*Constantin Dinculescu* (România)

Raportori generali : *Cornel Burducea* (România)
*Florin Iorgulescu* (România)

Secția 2.1. *Considerații economice și concepția generală*

2.1 — 19 J.N. Nassikas (S.U.A.) : Impactul potențial al mediului înconjurător asupra cheltuielilor întreprinderilor de distribuție a energiei electrice.

2.1 — 47 J.J. Roosen, R.C. Ball (S.U.A.) : Efectele ecologice ale unei centrale termice asupra faunei și florei unui mare lac cu apă dulce din S.U.A.

2.1 — 58 S. Haal, T. Lindbo, R. Lindskog, L. Lundberg, O. Nilsson, E. Wahlman (Suedia) : Diferite tipuri de înmagazinare a căldurii combinate cu încălzirea electrică a clădirilor avînd un sistem de încălzire cu radiatoare cu apă.

2.1 — 95 H. Haas, F. Heinrichs, O. Schmoch, H. Happoldt, E. Koch, M. Simon, F. Spirk (R.F.G.) : Tendințe de dezvoltare a echipamentelor de mare putere pentru producerea energiei.

2.1—110 D.G. Jimerin, K.D. Lavrenenko, K.V. Zubanov (U.R.S.S.) : Realizarea ideilor lui Lenin privind electrificarea în economia națională a U.R.S.S.

2.1—120 M. Durand, J. Lacoste (Franța) : Centralele termice, elemente de suplețe și de optimizare în utilizarea energiilor primare.

2.1—129 C. Bienvenu, J. Spinart (Franța) : Influența utilizării și a modului de exploatare asupra concepției centralelor termice.

2.1—154 D.A. McGee (S.U.A.) : Stadiul actual și perspectivele rezervelor de uraniu.

2.1—165 F. Wada (Japonia) : Modificări în structura resurselor energetice în Japonia.

2.1—173 I.M. Volkenau, A.M. Marinov, S.S. Rokoțian, A.A. Sovalov, G.A. Cernea (U.R.S.S.) : Crearea marilor sisteme energetice — factor ce conduce la o aprovizionare cu energie mai sigură și mai economică.

2.1—185 H.B. Norman (Africa de Sud) : Planificarea unei rețele pentru alimentarea cu energie electrică în vederea utilizării optime a resurselor energetice disponibile.

2.1—194 F. Kirchner (Franța) : Evoluția curenților de scurtcircuit în rețelele de transport al energiei electrice.

2.1—228 V.I. Nițu, C. Burducea, E. Bran, N. Mirea, M. Vintilescu (România) : Considerații asupra concepției centralelor termice din România.

Secția 2.2 *Energie hidraulică*

2.2— 1 K. Arkun (Turcia) : Factori economici și de funcționare pentru proiectarea centralei hidroelectrice Oymapinar.

2.2— 15 R. Fenz (Austria) : Progrese realizate în proiectarea și exploatarea centralelor hidroenergetice situate pe Dunăre, în Austria.

2.2— 21 E.L. Armstrong (S.U.A.) : Amenajarea celei de-a treia centrale electrice de pe Grand Coulee.

2.2— 31 V. Šorejs, J. Sykora (Cehoslovacia) : Centrala hidraulică cu pompaj Dalešice cu grup generator reversibil și demaraj asincron.

2.2— 35 A.N. Karas (Canada) : Marketingul producerii și transmisiei energiei unei centrale maremotrice din golful Fundy.

2.2— 36 J.C. Dawson, M.M. Walker, H.K. Pratt (Canada) : Centrale hidraulice pe fluxul fluviului Peace.

2.2— 55 R.H. Clark (Canada) : Cercetări recente privind energia mareelor în golful Fundy.

2.2— 65 T. Biernacki (Polonia) : Influența pompajului la uzinele hidroelectrice de retenție asupra puterii lor, a producției de energie și a regularizării debitelor.

2.2— 67 A.M. Angelini (Italia) : Perspectiva evoluției și dezvoltării centralelor de pompaj în Italia.

2.2— 93 J.M. Lévesque (Canada) : Vane sferice pentru turbinele centralei Outardes 3.

2.2—169 S. Kuwahara (Japonia) : Progrese realizate la echipamentele centralelor de acumulare cu pompaj în Japonia.

2.2—171 M. Braikevitch (Marea Britanie) : Turbine cu debit direct.

2.2—197 J.R. Smith (S.U.A.) : Mărirea producției de energie electrică prin modificări climatice.

2.2—221 A. Nourescu, A. Cogălniceanu, S. Bogdan (România) : Progresul tehnic și concepția amenajării resurselor hidroenergetice din România.

Secția 2.3. *Combustibili clasici*

2.3— 4 G.G. Parodi, F. Tammaro, L. Crovella (Italia) : Evoluția folosirii cărbunelui ca sursă de energie la fabricarea fontei.

2.3— 11 R.P. Charbonnier, J.H. Walsh (Canada) : Ameliorarea preparării, transportului și transformării cărbunelui pentru o mai bună utilizare a acestei energii în Canada.

2.3— 14 A.F. Orlicek, F. Schwarz, E. Bauer (Austria) : Folosirea ameliorată a energiei în rafinăriile de petrol.

2.3— 16 D.B. Leason (Anglia) : Transportul cărbunelui la centralele de mare putere.

2.3— 22 Ph.L. Randolph (S.U.A.) : Utilizarea explozivilor nucleari pentru mărirea producției de gaze naturale și pentru crearea depozitelor subterane pentru combustibili clasici gazoși și lichizi.

2.3— 28 W.L. Crentz, A.W. Deurbrouck (S.U.A.) : Problema cărbunelui și a sulfului.

2.3— 32 O. Deyl, J. Kriška, V. Libich, B. Urban, P. Novotný (Cehoslovacia) : Fabricarea și exploatarea marilor generatoare de abur din Cehoslovacia.

2.3— 41 J. Gay (Franța) : Exploatarea minelor de cărbune prin subminare, mecanizarea susținerii și abatajului.

2.3— 44 G.L. Beard (S.U.A.) : Centrala electrică de 1,4 GW Centralia.

2.3— 53 J.P. Graham, J. Gibson (Marea Britanie) : Amestecul de cărbuni pentru fabricarea cocsului.

2.3— 60 D. Savić (Iugoslavia) : Cazan încălzit cu cărbuni de diferite categorii.

2.3— 71 K. Bund, K.A. Henney, K.H. Krieb (R.F.G.) : Centrală cu turbină combinată gaze-abur, cu instalație de gazificare sub înaltă presiune, cu cărbuni bituminoși, la centrala Kellermann din Lünen.

2.3— 80 C. Jacquemier (Franța) : Probleme tehnice și economice ridicate de aprovizionarea regiunilor mari cu gaze naturale de origine și compoziție diferite. Aplicație la regiunea Parisului.

2.3— 81 C. Deutsch, B. Chaton, X. Beaurepaire (Franța) : Două metode noi de transport al solidelor, aplicabile la transportul combustibililor.

2.3— 83 E. Cochet, J. Billard, R. Mirigay, J. Goalvoueden, P. Lugand, C. Moinaud (Franța) : Alimentarea combinată cu gaz de cocserie și produse de huilă a unei instalații producătoare de energie integrată de mare putere (Centrala Emile Huchet).

2.3— 85 H. Whaley, L. Shenfeld, G.K. Lee, M.S. Hirt, S.G. Djurfors (Canada) : Dispersarea gazelor unei mari centrale termice.

2.3— 86 A.D. Hunt, H.W. Woodward (Canada) : Dificultăți de aprovizionare legate de explorarea petrolieră și de gaze în nordul Canadei.

2.3— 87 W.G. Sterling, D.G. Clarke (Canada) : Centrala termică H.R. Milner, un proiect de utilizare a huilei inferioare.

2.3— 97 W. Peters, H. Jüntgen, E. Ahland (R.F.G.) : Evoluția proceselor moderne pentru producerea cocsului destinat vechilor și noilor domenii de aplicare.

2.3—100 H. Kruppe (R.F.G.) : Tendințele producerii de energie și căldură în Republica Federală a Germaniei.

2.3—102 H. Wiehn, H. Hennecke, F. Thelen (R.F.G.) : Boilere moderne cu cărbune brun și anexele lor.

2.3—108 N.M. Markov, W.W. Mitor, S.A. Zikov, A.E. Geltman, L.N. Moiseeva, S.I. Mochan, L.D. Frankel, E.A. Iodidio (U.R.S.S.) : Perspectivele agregatelor pentru puteri mari cu combustibili clasici în 1980—1985.

2.3—118 Sh. Iki (Japonia) : Creșterea productivității prin raționalizarea minelor de cărbuni și probleme dificile ale minelor situate sub marea Japoniei.

2.3—127 A.W.T. Mottram (Marea Britanie) : Turbina cu gaze, perfecționări recente și efectul lor asupra gamei de aplicații.

2.3—132 G.E. Edwards (Australia) : Prepararea unui produs de distilare din cărbunele de cocs de la alimentarea centralei.

2.3—133 M. Nojiri (Japonia) : Folosirea în comun a gazelor naturale lichefiate de către Tokyo Gaz Co. Ltd. și Tokyo Electric Power Co. Inc.

2.3—167 L. Forgó (Ungaria) : Echipament pentru condensare, răcit cu aer, pentru centrale termice și nucleare cu protecție a mediului înconjurător.

2.3 — 189 G.A. Reinten (Olanda) : Experiențe cu combustia de gaz în cazanele centralelor electrice mari din Olanda.

2.3 — 203 N. Todoriev, At. Gheorghiev (Bulgaria) : Centrale electrice cu lignit cu umiditate mare și cărbune brun cu conținut mare de cenușă.

2.3 — 205 J. Bienz, H. Sharan, A. Kikinis (Elveția) : Aspecte economice ale suprasarcinii generatoarelor cu abur cu combustie de petrol și gaze.

2.3 — 206 M.K. Salem (R.A.U.) : Folosirea țițeiului brut cu conținut ridicat de sulf și scăzut de apă, în loc de păcură, la fabricile de ciment în Republica Arabă Unită.

2.3 — 207 M. Azmy (R.A.U.) : Folosirea țițeiului greu ca combustibil în cazanele centralelor.

2.3 — 211 B. Popa, V. Iscrulescu, I. Biriș, St. Kovacs (România) : Intensificarea procesului de ardere. Rezultate recente obținute prin studiul combustiei instalațiilor de ardere, în domeniul ultrasunetelor.

2.3 — 212 N. Herța, V. Voiculescu (România) : Aspecte privind utilizarea complexă a resurselor de huilă din R.S. România.

2.3 — 220 B. Almășan, V. Brînzan (România) : Tendințe în valorificarea combustibililor inferiori — parte din energetica României.

Secția 2.4. *Energie nucleară*

2.4 — 18 J.W. Simpson, J.C. Rengel, T. Stern (S.U.A.) : Experiența obținută în construcția și exploatarea reactoarelor cu apă sub presiune.

2.4 — 24 A.E. Schubert (S.U.A.): Potențialul viitor al reactoarelor cu apă în fierbere.

2.4 — 45 J.J. Morabito, T.Y. Mullen, D.C. Spencer, B. Wolfe (S.U.A.) : Stadiul și planul proiectelor de construcție și de exploatare a instalațiilor de încercări cu flux rapid de 400 MW în S.U.A.

2.4 — 51 A. Lévay, Gy. Csom (Ungaria) : Evaluarea realistă a combustibililor nucleari pentru sistemele de energie nucleară.

2.4 — 73 G. Vendryes, M. Banal (Franța) : Progrese recente realizate în Franța privind funcționarea și concepția centralelor cu neutroni rapizi.

2.4 — 89 Y. Takeyasu (Japonia) : Dezvoltarea reactoarelor termice avansate și a reactoarelor regeneratoare cu neutroni rapizi.

2.4 — 96 K. Bammert, J. Rehbach (R.F.G.) : Turbina cu gaze pentru centrale nucleare.

2.4 — 124 D.R. Berridge, R.V. Moore (Anglia) : Reactorul regenerator și folosirea combustibilului nuclear în Regatul Unit.

2.4 — 131 F. Pascual (Spania) : Progresul ciclului nuclear de combustibil realizat în Spania.

2.4 — 137 P. Wenzel (R.D.G.) : Cicluri încrucișate de combustibil de uraniu-plutoniu și de toriu-uraniu pentru un sistem nuclear în dezvoltare cu convertizoare termice și cu reactoare regeneratoare cu neutroni rapizi.

2.4 — 142 P.H. Margan, S. Menon, M. von Bonsdorff (Suedia, Finlanda): Tehnologia și potențialul reactoarelor cu apă, cu recipienți sub presiune, din beton armat precomprimat.

2.4 — 155 R. Sérgio, J.A. da Silva (Portugalia) : Probabilitatea unei piețe internaționale de plutoniu.

2.4 — 172 R.G. Hart, L. Pease, G.A. Pon (Canada) : Agenți refrigerenți alternativi în sistemele nucleare Candu.

2.4 — 202 R.F.W. Guard, P.J.W. Pickerill (Canada) : Viitorul reactorului cu uraniu natural.

Secția 2.5. *Alte surse de energie și de producere directă a energiei electrice*

2.5 — 6 T. Leardini, O. Rumi, M. Silvestri, G. Sotgia, E. Tongiorgi (Italia) : Folosirea resurselor geotermice printr-o buclă gravimetrică dublă și încercări experimentale pe model.

2.5 — 48 S. Orlofsky (S.U.A.) : Construcția unei pile cu combustibil de 12,5 kW, cu gaze naturale.

2.5 — 52 D. Halász, K. Szendy (Ungaria) : Mărirea conductibilității unui gaz cu temperatură moderată în țevile unui generator MHD.

2.5 — 149 A.E. Șeindlin, D.G. Zimerin, V.P. Motulevici, B. Ia. Șumiatski, V.A. Vasilov, V.I. Kovbasiuk (U.R.S.S.) : Centrale MHD — stadiul actual și prevederile pentru utilizarea lor în scopuri comerciale.

2.5 — 151 A.M. Hoesni, A. Arismunandar, V.T. Radja (Indonezia) : Perspectivele energiei geotermice în raport cu politica folosirii resurselor energetice în Indonezia.

2.5 — 152 M. Rodot, P. Vasseur (Franța) : Efectul fotovoltaic în energia solară. Aplicațiile sale spațiale și terestre.

*Diviziunea 3.* **Scheme și instalații pentru utilizări complexe ale energiei în scopuri multiple**

Președinte : *P. Wyart* (Franța)

Vicepreședinți : *Waclaw Fiszer* (Polonia)
*Vasile Nițu* (România)

Raportori generali : *Ioan D. Stăncescu* (România)
*Costin Moțoiu* (România)

Secția 3.1. *Principii generale sau concepții de ansamblu care pot îmbunătăți valorificarea energiei prin utilizare complexă.*

3.1 — 30 J. Ribesse (Belgia) : Ciclul turbinei cu gaze avînd un reactor de oxidare parțială catalitică de gaze naturale; aplicarea ei în sistemele de energie-căldură.

3.1 — 84 A.T. Jeffries, F.W. Buckley (Canada) : Folosirea totală a energiei cu referințe speciale la complexul industrial Point Tupper.

3.1. — 115 V.P. Koritnikov, A.S. Podjakov, L.I. Levin, G.A. Kruglov (U.R.S.S.) : Experiența obținută la elaborarea proiectelor, la construcția și întreținerea centralelor electrice de termoficare.

3.1 — 121 R. Douvry, R. Personnic, A. Roche (Franța) : Instalația de desalinizare a apei marine legată de o producție de energie electrică sau de un complex industrial.

3.1 — 130 J. Carrasse, D. Desbrosses (Franța) : Condiționarea integrală prin pompă de căldură. Noi posibilități

3.1 — 134 L. Dirke, R. Gradin, J. Holmberg (Suedia) : Căldură liberă obținută prin iluminat.

3.1 — 143 L. Adámek, J. Fiala, J. Herodes, J. Velášek (Cehoslovacia) : Studiul sistemului de încălzire urbană pentru regiunea de est a orașului Praga, utilizînd turbine cu contrapresiune pentru producerea energiei electrice în ciclul de condensare.

3.1 — 161 Y. Tatsumi, T. Sakai (Japonia) : Folosirea complexă a energiei centralelor termice.

3.1 — 166 L. Heller, L. Szücs, Z. Szábo (Ungaria) : Încălzirea clădirilor de locuit de la surse de energie la distanță.

3.1 — 208 J. Dráhý, M. Stanek (Cehoslovacia) : Turbine cu abur cu supraîncălzire pentru producerea combinată de căldură/forță.

3.1 — 222 I.D. Stăncescu, C. Burducea, M. Voinea, N. Niculescu, N. David (România) : Evoluția producerii combinate căldură/forță în România.

3.1 — 233 A. Schwefelberg, A. Mișu, N. David, C. Corcodel (România) : Analiza eficienței economice a marilor sisteme de termoficare în România.

3.1 — 226 C. Moțoiu, D. Rențea, C. Goldenberg, R. Dumitrache (România) : Alegerea capacităților și fluxurilor de energie destinate pentru partea caldă și partea rece a centralelor electrice de termoficare

Secţia 3.2. *Utilizarea complexă a resurselor hidraulice*

3.2—7 G. Baroncini, M. Dolcetta, V. Bevilacqua (Italia) : Consideraţii asupra exploatării în scopuri multiple a resurselor hidraulice în Italia şi proiectele în curs în sudul Italiei.

3.2—13 L. Bauer (Austria) : Folosirea economică optimală a sistemului fluvial Dunăre-Inn în Austria.

3.2—54 I. Paulicka, L. Tekel (Cehoslovacia) : Un exemplu de exploatare a potenţialului hidroenergetic în Cehoslovacia.

3.2—56 J.M.M. Mendiluce, J.M. Pliego, L.T. Rodriguez (Spania) : Aspecte tehnico-economice ale proiectului Tajo-Segura.

3.2—117 D.M. Jurinov, I.L. Sapir, A.N. Voznesenski, I.A. Terman (U.R.S.S.) : Energia hidraulică şi dezvoltarea multilaterală a resurselor hidraulice în U.R.S.S.

3.2—135 T. Suzuki (Japonia) : Reamenajarea rîurilor în Japonia.

3.2—180 V. Langhofer, E. Hercegovac, P. Ramljak, C. Ciric (Iugoslavia) : Folosirea complexă a apelor bazinului de recepţie al fluviului carstic Trebišnjica.

3.2—195 W.S. Lee (S.U.A.) : Proiectul Keowee-Texaway. Utilizarea complexă a resurselor naturale.

3.2—196 D.J. Lewis (S.U.A.) : Analiza sistemelor aplicate la amenajarea rîului Columbia.

3.2—224 A. Nourescu, A. Cogălniceanu, G. Frank, S. Bogdan, M. Sipiceanu (România) : Folosirea în scopuri multiple a resurselor hidroelectrice în România şi repartiţia investiţiilor pe diferite utilităţi.

3.2—231 F. Iorgulescu, I. Hvog (România-Iugoslavia) : Un proiect cu scopuri multiple româno-iugoslav : Porţile de Fier pe Dunăre.

Secţia 3.3. *Utilizarea complexă a combustibililor clasici în industrie*

3.3—10 P. Grau, E. Roig, M. Rigola (Spania) : Folosirea gazelor naturale lichefiate ca sursă de răcire pentru fracţionare şi alte procese industriale.

3.3—66 R. Krajewski, J. Marecki (Polonia) : Aspecte economice ale ciclurilor combinate gaze-abur în centralele industriale de termoficare.

3.3—112 N. Konstantinov, V. Mikailov, L. Gudkov, I. Şadrukin (U.R.S.S.) : Unele aspecte privind utilizarea raţională a energiei marilor rafinării de ţiţei.

3.3—113 V.P. Dobrot, M.I. Korneev, V.P. Semenov, M.Ş. Liakovski (U.R.S.S.) : Centrale combinate abur-gaze pentru producerea de energie.

3.3—116 S.I. Veselov, V.I. Dlugoselski, I.L. Riznev, B.V. Sazanov, S.P. Suson (U.R.S.S.) : Problemele eficienţei utilizării resurselor de energie secundară în Uniunea Sovietică.

3.3—126 J.P. Harmsworth (Marea Britanie) : Factorii economici fundamentali ai sistemelor industriale ,,total energy''.

3.3—145 J. Michard, M. Courbariaux, H. della Casa (Franţa) : Evoluţia bilanţurilor de energie şi de consumuri specifice în siderurgie, la care conduce evoluţia comparată a formelor multiple de energie.

3.3—163 M. Yoshida (Japonia) : Complex industrial bazat pe folosirea ţiţeiului la Kashima.

3.3—175 L.I. Cernomordik (U.R.S.S.) : Progrese realizate în domeniul energiei şi tehnologiei privind industria azotului şi efectul economic al utilizării proceselor chimice.

3.3—176 A. Lahiri, D.K. Mukherjee (India) : Un program de dezvoltare integrală a resurselor de combustibili clasici în Assam (India).

3.3—178 E. P. Egorov, V.K. Jubite (U.R.S.S.): Utilizarea raţională de energie electrică în întreprinderile de siderurgie.

3.3—184 A. Lahiri, N. C. Sinha, S. K. Sen, S. K. Lahiri (India): Un plan de dezvoltare a regiunii văii Gangelui superior, bazat pe resursele de cărbune.

3.3—187 J.H. Govaarts, C.W. Schutte (Africa de Sud) : Folosirea cărbunelui inferior pentru producerea de ţiţei, gaze, îngrăşăminte şi produse chimice.

3.3—192 A.G. Horsler, P.R. Skipp (Marea Britanie) : Folosirea gazelor naturale în industrie în Marea Britanie, pentru producerea de căldură, electricitate, frig şi forţă motrice prin adaptarea unui complex energetic unic.

3.3—233 M. Iosef, N. Niţă, P. Ionescu, C. Bosnyac (România) : Folosirea complexă a combustibililor la Combinatul siderurgic Galaţi.

Secţia 3.4. *Utilizarea complexă a combustibililor clasici în alte domenii*

3.4—42 A.G. Daglish, H.S. Prosser, I.S. Primrose (Marea Britanie) : Gazele naturale, energia totală pentru clădiri neindustriale.

3.4—77 H.G. Mitchell (Marea Britanie) : Recuperarea căldurii în imobile.

3.4—210 Secţia de energie, Divizia resurselor şi transporturilor, Departamentul afacerilor economice şi sociale al Naţiunile Unite : Folosirea în scopuri multiple a resurselor geotermice.

Secţia 3.5. *Utilizarea complexă a combustibililor clasici pentru alimentarea cu energie a centrelor populate noi sau în dezvoltare rapidă*

3.5—63 Cz. Mejro, S. Minorski (Polonia) : Progrese în alimentarea cu energie a oraşelor mari.

3.5—74 J. Dubois, R. Wolf, J. Turcat (Franţa) : Soluţiile electrice ale viitorului pentru a preîntîmpina necesarul de energie şi utilizarea complexă a unei energii nobile.

3.5—140 H. Munser (R.D.G.) : Sisteme automate de încălzire urbană.

3.5—144 K.A. Forstberg, B. Köhler, L. Lingstrand (Suedia) : Aprovizionarea cu energie a oraşelor de mărime mijlocie.

Secţia 3.6. *Utilizarea complexă a energiei nucleare*

3.6—2 F.S. Aschner, S. Yiftah (Israel) : Folosirea în scopuri multiple a energiei nucleare.

3.6—37 W.G. Morison, P.H.G. Spray, S.G. Horton (Canada) : Centrala nucleară Bruce.

3.6—46 T.A. Johnston (S.U.A.) : Reactorul cu gaze la temperaturi înalte pentru producerea căldurii industriale.

3.6—101 B. Kunst, E. Gnam, H. Laban, H. Schafstall, K. Baranowski (R.F.G.) : Instalaţie de evaporare multiplă a energiei nucleare funcţionînd în condiţii normale şi cu sarcină parţială.

3.6—128 H.R. Schenck, W. Wenzel (R.F.G.) : Trecerea la noi surse de energie în siderurgie.

3.6—136 F. Taygun (Elveţia) : Turbine cu gaze pentru centralele convenţionale şi nucleare folosite în scopuri multiple.

*Diviziunea 4.* **Metode noi de calcul tehnic şi economic în vederea unei mai bune puneri în valoare a energiei**

Preşedinte : *Arnaldo M. Angelini* (Italia)

Vicepreşedinţi : *Keichi Oshima* (Japonia)
*Remus Răduleţ* (România)

Raportori generali : *Eugeniu Pavel* (România)
*Teodor Popa* (România)

Secţia 4.1. *Metode noi privind prognoza evoluţiei consumului de energie*

4.1—8 C. Grossi, R. Manni, M. Valtorta (Italia) : Prognoze probabile ale cererilor zilnice de energie cu ajutorul lanţurilor Markov.

4.1—38 M. Boen, R. Goyer, J. Ingwaldsen (Norvegia) : Aplicaţia unui „model de creştere cu sectoare multiple", în scopul prognozei cererii de energie în Norvegia.

4.1—59 L.H. Hanson, S. Gothe (Suedia) : Stabilirea variaţiei cererii de energie prin anchete şi calculul regresiilor multiple.

4.1—61 A. Atilaksana (Tailanda) : Evoluţia problemelor metodelor folosite în Tailanda pentru prognoza cererilor de energie electrică.

4.1—64 J. Filipowicz, B.L. Rudnicki (Polonia) : Prognoza cererii de energie electrică a consumatorilor urbani neindustriali prin metoda regresiei multiple.

4.1—90 Biroul Central pentru Energie (Japonia) : Prognoza pe termen lung a consumului de energie electrică în Japonia.

4.1—92 L. Higgins, S. Brubacher (Canada) : O nouă metodă pentru prognoza cererii orare.

4.1—157 L. Nevanlinna, H. Haavisto (Finlanda) : Interdependenţa consumului de energie şi creşterii economice în Finlanda.

4.1—168 E.L. Born, M.D.J. Gellard, D. Nagel, E.L. Trafford, G.D. Paterson (Marea Britanie) : Calculul empiric al metodelor de prognoză.

4.1—174 A.A. Bescinski, A.G. Vigdorcik, Iu. M. Kogan, A.G. Zaharin, I.N. Bessonova (U.R.S.S.) : Metoda şi practica de prognoze pe termen lung a consumului de energie.

4.1—191 M. V. Deshpzande (India): Metode de prognoză pentru cererea de energie electrică.

4.1—199 M.V. Cernohlawek (Austria) : Studiul pieţii —baza politicii de alimentare a întreprinderilor austriece furnizoare de energie electrică.

4.1—216 | M. Bercovici |, C. Nagy, G. Panaitescu, Gh. Troia, S. Manea (România) : Oportunitatea folosirii metodelor matematice şi statistice pentru stabilirea prognozei necesarului de energie din industrie.

4.1—230 A. Schwefelberg, E. Costin, M. Grăniceanu (România) : Mijloace de ameliorare a prognozelor în domeniul energiei electrice.

Secţia 4.2. *Metode pentru calculul unei mai bune utilizări a energiei*

4.2—3 P.J.R. Grool (Olanda) : Influenţa turbinelor cu gaze asupra studiului dezvoltării unui sistem energetic.

4.2—23 L.L. Schedin (S.U.A.) : Integrarea resurselor de energie în centrul-nord al Statelor Unite şi în statul Manitoba din Canada pentru producerea de energie electrică.

4.2—33 T. Kană (Cehoslovacia) : Metodă pentru stabilirea şi aprecierea consumului specific de căldură la vulcanizarea continuă a cablurilor izolate cu cauciuc.

4.2—34 J. Kadronozka, B. Hanus (Cehoslovacia) : Optimizarea centralelor electrice de termoficare cu ajutorul unui calculator.

4.2—40 A. Vilar Münch, R.C. Ocampo, C.U. Zubillaga (Mexic) : Coordonarea puterii hidraulice şi termice a unui sistem energetic.

4.2—43 W.B. Shannon, W.W. Campbell, R. Carstairs, F. Dollin, A. Frankel, A.W.C. Hirst, A. Sherry (Marea Britanie) : Disponibilitatea centralelor electrice şi echipamentul acestora.

4.2—50 Büki, Erdösi, Földvàry, Füredi, Ligeti (Ungaria) : Modelul planificării şi optimizării aprovizionării cu energie pe termen lung, în timpul unei perioade de schimbare a structurii combustibililor.

4.2—62 K. Yoshida, T. Hirukawa (Japonia) : Comandă prin calculator la o staţie de transformare.

4.2—75 M. Hug, J. Pouget, R. Liard, R. Cougouille, G. Bordonne, M. Courbariaux, C. Lauriol, J.P. Marchand (Franţa) : Informatica în serviciul gestiunii proceselor energetice şi a unităţilor de exploatare.

4.2—82 V. Saminaden (Franţa) : Dezvoltarea sistemelor mixte de teleinformare şi de calculatoare în gestiunea integrată a reţelelor de energie electrică.

4.2—103 M. Haase, E. Dern (R.F.G.) : Metodă de optimizare a producţiei combinate căldură/forţă.

4.2—105 W. Hofmann, K. Theilsiefje, H. Wagner (R.F.G.) : Studiu de dezvoltare optimală a unui sistem de alimentare cu energie electrică.

4.2—106 H.G. Busch, Fr. Lehmhaus, H. Reisner (R.F.G.) : Ameliorarea continuă a fiabilităţii alimentării cu energie electrică.

4.2—109 A.Ş. Reznikovski, M.I. Rubinstein, G.G. Svanidze, E.V. Ţvetkov (U.R.S.S.) : Optimizarea exploatării în cascadă a centralelor hidraulice cu acumulare, în sistemele energetice.

4.2—114 L.A. Melentiev, A.A. Makarov, A.A. Bescinski, Ia.I. Hainson, M.A. Rubin, B.L. Erlichman (U.R.S.S.) : Criterii de eficacitate şi metode complexe de optimizare în studiile de dezvoltare a economiei de energie.

4.2—146 H. Effenberger, R. Wecke (R.F.G.) : Ameliorarea eficacităţii şi producerea de energie electrică prin optimizarea disponibilităţii centralelor.

4.2—147 D. Schaller, H.G. Müller (R.F.G.) : Metodă pentru stabilirea fiabilităţii alimentării cu energie electrică a reţelelor.

4.2—148 R. Boberg (R.F.G.) : Pregătirea bilanţurilor termodinamice ale centralelor în vederea utilizării energiei.

4.2—150 K. Goldsmith, F. Ullmann (Elveţia) : Integrarea amenajărilor hidraulice cu scopuri multiple în treptele energiei regionale.

4.2—170 P. Bertrand, P. Pascal (Franţa) : Metodologia de calcul tehnico-economic pentru compararea celor mai bune soluţii pentru încălzirea grupurilor de imobile cu gaze.

4.2—179 R. Freiberger, M. Holub, F. Lidický (Cehoslovacia) : Metode şi rezultate ale prevederii pe termen lung în sectorul energiei în Cehoslovacia.

4.2—181 H. Požar, J. Keglević (Iugoslavia) : Metodă pentru determinarea folosirii bazinelor de acumulare ale centralelor hidraulice.

4.2—186 E.J. Maunders, J.D. Roode (Africa de Sud) : O nouă metodă de abordare a problemei de optimizare a amplasării centralelor electrice în Africa de Sud.

4.2—190 M.N. Chakravarti, S.S. Shiralkar (India) : Metode de optimizare a planificării sistemelor energetice, aplicate în India.

4.2—198 R. Tarján, Gy. Hahn (Ungaria) : Obiective energetice cu termen lung şi realizarea condiţiilor execuţiei lor în economia Ungariei.

4.2—204 M. Anghelov, C. Lazarov, N. Godev (Bulgaria) : Planificarea producţiei de energie electrică a centralelor hidraulice cu ajutorul modelelor corelative multifactoriale.

4.2—213 J. Boisnard, A. Diacon (România) : Probleme privind folosirea complexă a amenajărilor hidroelectrice.

4.2—214 | M. Bercovici |, A. Szmuk (România) : Model pentru elaborarea unui program de perspectivă a energiei nucleare.

4.2—215 C. Dinculescu, N. Dănilă, R. Dumitrache, M. Dinu (România) : Optimizarea consumului anual de combustibil al centralelor electrice cu condensaţie şi de termoficare, prin simularea funcţionării lor cu ajutorul calculatorului electronic.

4.2—217 M. Petcu, Al. Pap, St. Kovacs, N. Liciu (România) : Model matematic pentru optimizarea dezvoltării bazei energetice a unei ţări cu profil polienergetic.

4.2—218 A. Dumitrescu, M. Elefterescu, St. Kovacs, A. Pap, M. Popescu (România) : Condiţii tehnico-economice privind posibilităţile de schimbare a purtătorilor. de energie la turnarea metalelor în turnătorii-

4.2—227 V.I. Nitu, H. Albert, A. Vlădescu (România) : Soluţii de optimizare în domeniul energiei, ţinînd seama de criteriul fiabilităţii.

4.2—229 N. Chirculescu, D. Drăguşin, A. Marinescu, D. Popescu, V. Romert, M. Străinescu (România) : Algoritme şi programe pentru optimizarea puterilor într-un sistem.

Secţia 4.3. *Criterii de evaluare a investiţiilor şi a cheltuielilor anuale şi metodele de defalcare pentru diferite utilizări.*

4.3—9 R. Hubbard, R. Adams (Noua Zeelandă) : Controlul financiar al funcţiilor tehnologice ale unei întreprinderi de distribuţie a energiei electrice.

4.3—20 E.A. French (Marea Britanie) : Principii pentru evaluarea metodelor alternative de alimentare cu energie a noilor oraşe şi a amenajărilor urbane mari.

4.2—25 P. Leung (S.U.A.) : Alocarea şi evaluarea investiţiilor şi costurilor anuale pentru evoluţia costurilor aburului şi electricităţii destinate industriei chimice.

4.3—39 A. Buscaglione, E. Mollame (Italia) : Consideraţii asupra repartiţiei costurilor în producţie cu recuperarea energiei electrice.

4.3—57 Y. Larson, L. Fogelström (Suedia) : Un model pentru planificarea financiară pe termen lung în serviciile energetice.

4.3—88 I.W. Meldrum, A.A. Cope, P.F. Moir, A.J. Wood (Australia) : Producţia de energie şi planificarea financiară a Comisiei de electricitate a statului Victoria.

4.3—164 N. Harada (Japonia) : Alocaţia costurilor la barajele cu scopuri multiple.

4.3—232 F. Iorgulescu (România) : Repartiţia investiţiilor şi a sarcinilor anuale la amenajarea Porţile de Fier pe Dunăre, între producţia de energie electrică şi navigaţie.

*Diviziunea 5.* **Implicaţii economice şi sociale ale îmbunătăţirii utilizării energiei**

Preşedinte : *A.A. Bescinski* (U.R.S.S.)

Vicepreşedinte : *H.C. Guha* (India)

Raportor general : *Anatol Schwefelberg* (România) :

Secţia 5.1. *În ţările industrializate*

5.1—78 M.H. Shepheard, P.L. Aitken, A.M. Blair, K. Clough (Marea Britanie) : Problemele de agrement vizual rezultate din alimentarea cu energie electrică.

5.1—123 H.I. Fuller, H. Jagger, C.S. Windebank (Marea Britanie) : Ţiţeiul ca sursă de energie şi eforturile pentru conservarea mediului înconjurător.

5.1—138 H.G. Riedel, H. Mohry (R.D.G.) : Determinarea şi eliminarea aerului poluat, cu referinţe speciale la măsurarea în regiunile industriale şi efectul lor economic.

5.1—162 C. Ferroni (Italia) : Rolul energiei în industrializarea Italiei.

5.1—182 I. Jamnicki (Iugoslavia) : Probleme fundamentale ale optimizării social-economice a utilizării energiei.

5.1—183 W. Fiszer (Polonia) : Problemele corelaţiei între dezvoltarea energiei electrice şi resurselor de combustibil din Polonia.

5.1—225 N. Armencoiu, C. Goldenberg, A. Sevastru (România) : Dezvoltarea sistemului energetic în cadrul progresului economic şi social al României.

Secţia 5.2. *În ţările în curs de dezvoltare*

5.2—17 D.A. Hamil (S.U.A.) : Impactul economic şi social al utilizării ameliorate a energiei în ţările în curs de dezvoltare.

5.2—26 C.N. Hodges, C.O. Hodge (S.U.A.) : Instalaţiile complexe pentru producerea de energie, de apă şi de alimente.

5.2—76 R. Lamassiaude, McVigna, R. Bonnet, P. Chaffiotte, L. Kerneur (Franţa) : Alegerea economică şi tehnică optimă a mijloacelor de producere de energie electrică în ţările în curs de dezvoltare.

5.2—79 J.W. Fryer, J.H. Hooper, G. Whittingham (Marea Britanie) : Evoluţia necesarului de ţiţei şi produse petroliere şi satisfacerea acestora în perioade, locuri şi împrejurări diferite.

5.2—94 J. Cauas, H. Campere, E. Skoknic, E. Goldfarb (Chile) : Criteriile alegerii investiţiilor în industria electrică în Chile.

5.2—153 Ch. Debataradja Sumbarjono, S. Dulhomid (Indonezia) : Impactul economic şi social al utilizării energiei în Indonezia.

5.2—188 H.A. Anvari (Iran) : Evoluţia consumului de energie electrică şi creşterea economică în Iran.

5.2—201 P.L. Shrestha (Nepal) : Posibilităţile utilizării industriale ale resurselor hidraulice ale Nepalului în vederea dezvoltării sale economice.

5.2—209 B.G.K. Reddy (India) : Impactul economic şi social al folosirii complexe a energiei primare în ţări în curs de dezvoltare ca India.

# Conferința Internațională a Marilor Rețele Electrice de Înaltă Tensiune

(CIGRE)

*Viitoarea sesiune a Conferinței Internaționale a Marilor Rețele Electrice de Înaltă Tensiune (CIGRE) va avea loc între 28 august și 6 septembrie 1972 la Paris, în clădirea Conferințelor UNESCO.*

*În cursul acestei sesiuni, cu ocazia căreia vor fi prezentate 139 rapoarte, va continua examinarea problemelor tehnice ale rețelelor de energie electrică, care, în cadrul CIGRE, sînt studiate de specialiști de valoare din întreaga lume.*

*Discuțiile vor fi împărțite în 14 grupe specializate, fiecare dispunînd în general de o zi pentru a analiza probleme privind : alternatoarele, transformatoarele, întreruptoarele, materialele de conversiune din curent alternativ în curent continuu, materialele izolante, cablurile izolate, liniile electrice aeriene, stațiile, rețelele de transport, concepția și funcționarea rețelelor, supratensiunile și coordonarea izolației, protecția și automatizările, teletransmisiile și perturbațiile rețelelor vecine.*

*Înscrierile se fac prin instituții, respectiv forurile tutelare (ministere), centralizarea și transmiterea lor la Paris făcîndu-se prin Comitetul Național Român.*

*Pentru orice informații suplimentare, vă puteți adresa Comitetului Național Român al CIGRE, București, Bd. Lacul Tei nr. 1.*

**Revista „ENERGETICA" — organ al Ministerului Energiei Electrice și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din R.S. România (CNIT). Redacția: București, str. Galați nr. 5—7, Sectorul II. Tel. 136683, 130053. Instituțiile pot achita abonamentele pentru biblioteci și cabinete tehnice în contul nostru de virament nr. 30.01.01.00 B.N.R.S.R. — Sectorul VI. Tarif pentru întreprinderi: lei 100 anual. Tarif pentru abonamente individuale: lei 30 anual. Prețul unui exemplar lei 5**

**Taxele poștale plătite în numerar conform aprobării D.G.P.T. nr. 10.1095, 1967**

I.P.I. c. 2993

41 401

## OFICIUL DE DOCUMENTARE ENERGETICĂ

***Bucureşti, str. Galaţi nr. 5 – 7***
***— Sectorul 2 —***

**Oficiul de Documentare Energetică (O.D.E.) este organul de specialitate al Ministerului Energiei Electrice pentru informarea şi documentarea tehnică şi economică în ramura energetică.**

**O.D.E. editează şi difuzează revistele tehnice de specialitate din ramura energetică.**

**O.D.E. editează şi difuzează periodicele documentare privind ramura energetică.**

**O.D.E. editează şi difuzează publicaţiile tehnice departamentale: prescripţii tehnice (normative, regulamente, instrucţiuni, condiţii tehnice, fişe tehnologice, norme interne etc.), norme şi carnete de protecţie a muncii, note tehnice, studii documentare etc.**

**O.D.E. editează şi difuzează materiale de popularizare şi propagandă tehnico-economică: afişe, pliante, broşuri, albume etc.**

**O.D.E. execută, la cerere, traducerea din orice limbă a materialelor şi documentaţiilor tehnice ca: articole, referate, prescripţii, cataloage de produse, prospecte şi alte lucrări de specialitate.**

***Revistele tehnice editate de O.D.E.:***

**„Energetica"**
**„Producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice şi termice"**
**„Construcţii şi montaje energetice"**
**„Studii şi cercetări în energetică" şi suplimentul „Utilizarea calculatoarelor în electroenergetică"**

***Periodicele documentare editate de O.D.E.:***

**„Buletinul de informare pentru cadrele de conducere din energetică"**
**„Buletinul de documentare tehnică în energetică"**

Caiete selective pe temele:

**„Proiectarea şi executarea construcţiilor şi instalaţiilor energetice"**
**„Exploatarea, întreţinerea şi repararea instalaţiilor energetice"**
**„Protecţia muncii şi paza contra incendiilor în construcţiile şi instalaţiile energetice"**
**„Fişe documentare"**
**„Prescripţii tehnice în sectorul energetic"**

***Abonaţi-vă la revistele şi publicaţiile periodice editate de Oficiul de documentare energetică pentru a fi la curent cu toate problemele şi noutăţile tehnice ce apar în activităţile de cercetare, dezvoltare, proiectare, execuţie şi exploatare din ramura energetică.***

***Folosiţi serviciile pe care vi le oferă Oficiul de documentare energetică pentru procurări de cărţi şi reviste străine, traduceri, lucrări reprografiate etc.***

**O.D.E. – M.E.E. – Bucureşti, Str. Galaţi nr. 5 – 7, sectorul 2**
**telefon: 15.16.28 – 14.00.17. – 13.00.53**

# MUZEUL TEHNIC „PROF. ING. DIMITRIE LEONIDA"

În ansamblul serviciilor pe care OFICIUL DE DOCUMENTARE ENERGETICĂ le pune la dispoziția beneficiarilor săi, un loc deosebit îl ocupă documentarea tehnico-științifică realizată prin MUZEUL TEHNIC „PROF. ING. DIMITRIE LEONIDA".

Situat în cadrul pitoresc al Parcului Libertății din București, acest muzeu constituie — prin originalitatea, valoarea exponatelor și unicitatea sa — o piesă de o deosebită valoare în tezaurul expozițional românesc. Cele peste 6 000 de exponate, diorame, machete, modele de mașini — în mișcare sau secționate — ilustrează într-un mod atrăgător și instructiv istoria tehnicii, în special a celei românești, precum și eforturile inteligenței românești, care prin contribuția adusă la dezvoltarea științei și tehnicii se situează pe un loc de frunte în lume.

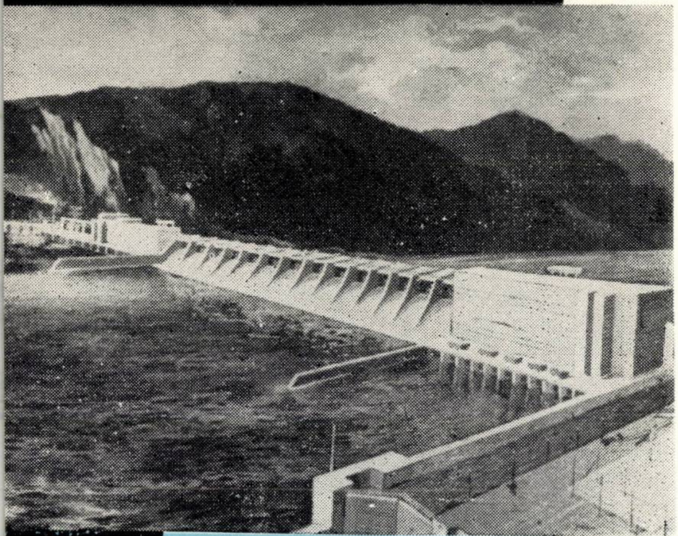
Muzeul este organizat pe șase sectoare principale, și anume :

— Mecanică
— Magnetism, electricitate
— Minerit și căldură
— Iluminat, telecomunicații și chimie
— Hidraulică
— Mașini industriale

Prin varietatea și bogăția exponatelor sale, MUZEUL TEHNIC „PROF. ING. DIMITRIE LEONIDA" oferă vizitatorilor multiple posibilități de instruire individuală și colectivă, prin lecții și demonstrații practice, cicluri de conferințe și prelegeri pe teme de istorie a științei și tehnicii, susținute de filme și diapozitive. De asemenea, muzeul dispune de o bibliotecă tehnico-științifică de peste 25 000 de volume, precum și de numeroase materiale vizuale (filme, diapozitive).

Muzeul este deschis în fiecare zi, cu excepția zilei de luni.

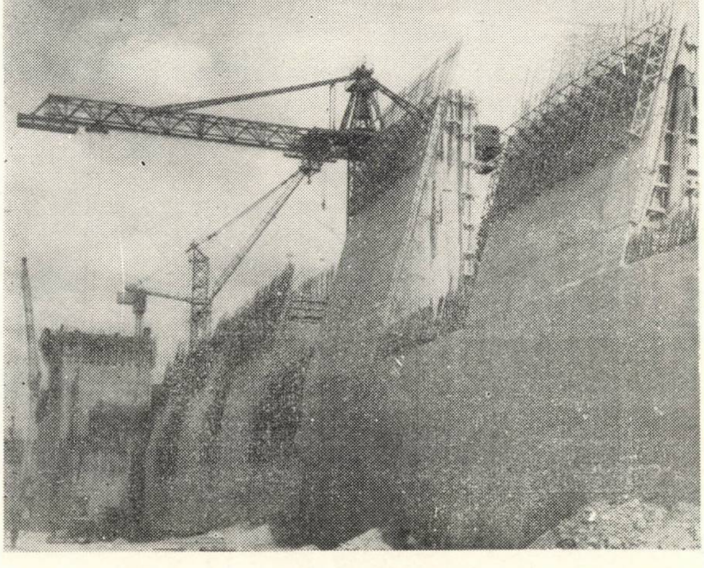
ICH bucurești



INTREPRINDEREA DE CONSTRUCȚII HIDROENERGETICE - BUCUREȘTI

EXECUTĂ :

. Baraje de toate genurile
. Centrale hidroelectrice subterane şi de suprafaţă
. Castele de echilibru
. Ecluze
. Tuneluri şi galerii hidrotehnice
. Canale şi diguri
. Amenajări pentru alimentarea cu apă a marilor industrii
. Complexe pentru producerea agregatelor de betoane



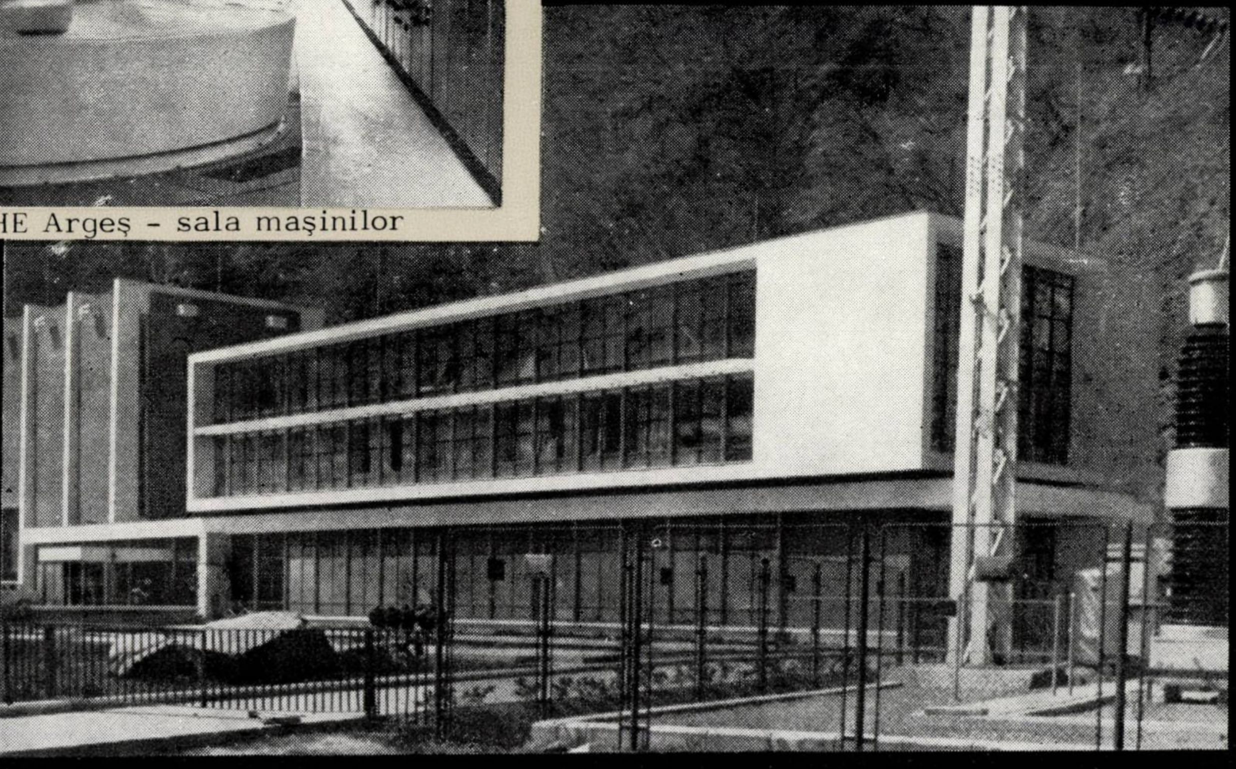
I.C.H. - BUCUREȘTI
Str. Dimitrie Onciul nr. 23-25
Telefon : 35.54.70
Telex : INCOHIDROEN 011 - 244
Bucureşti 3

# I.C.H. RÎMNICU VÎLCEA

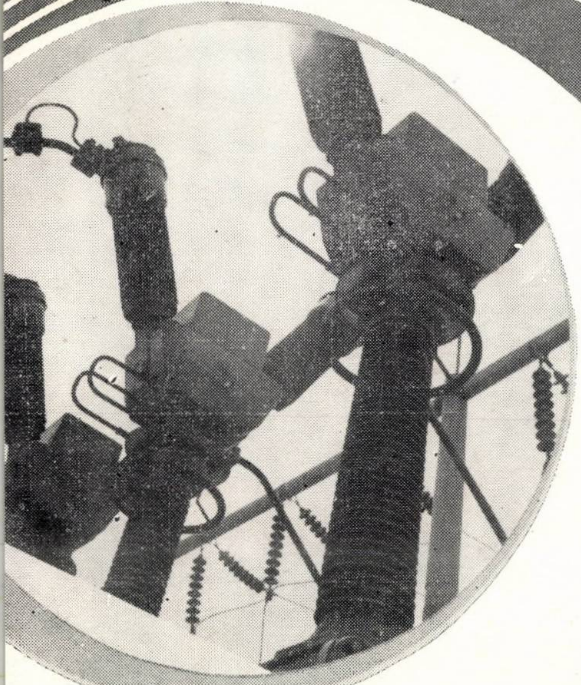
Centralele hidroelectrice ale ICH Rîmnicu Vîlcea furnizează energie electrică sistemului energetic național, fiind interconectate la acesta. Energia electrică furnizată asigură alimentarea cu energie electrică a consumatorilor industriali, agricoli și casnici din zonă.

Principala centrală — CHE Argeș — amenajată în subteran, are o putere instalată de 220 MW, în patru grupuri de 55 MW fiecare. Este automatizată și telemecanizată, asigurînd o funcționare continuă și energie electrică de calitate.

CHE Argeș - sala mașinilor



RÎMNICU VÎLCEA - Str.General Magheru nr.19



INTREPRINDEREA DE REȚELE ELECTRICE DEVA
Str. George Enescu nr. 35—39

# IRE * DEVA

*asigură :*

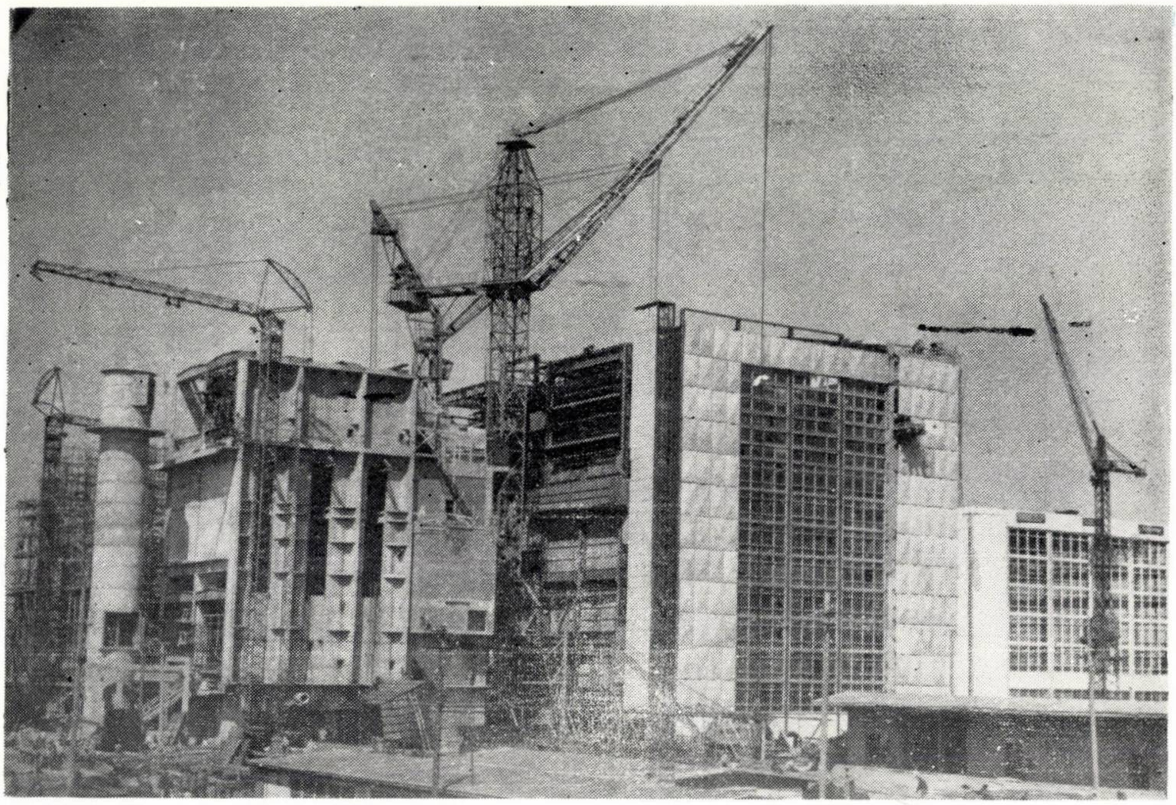
● buna deservire a consumatorilor de energie electrică din sectorul industrial, agricol, feroviar și casnic din regiune

*proiectează și execută :*

● rețele, posturi, stații de medie și înaltă tensiune, branșamente și instalații interioare în mediul urban și rural, la orice categorie de consumatori

*proiectează și execută :*

● automatizări și modernizări de instalații electrice



Execută prin unităţile sale :

● **Lucrări de construcţii termoenergetice :**

— centrale termoelectrice
— termoficări urbane şi industriale
— construcţii hidrotehnice aferente centralelor termoelectrice
— coşuri de fum prin glisare, cu înălţimi pînă la 250 m
— turnuri de răcire cu tiraj natural şi tiraj forţat
— montaje de prefabricate grele din beton armat pentru orice construcţie termoenergetică

● **Lucrări de montaj pentru centrale termo şi hidroelectrice :**

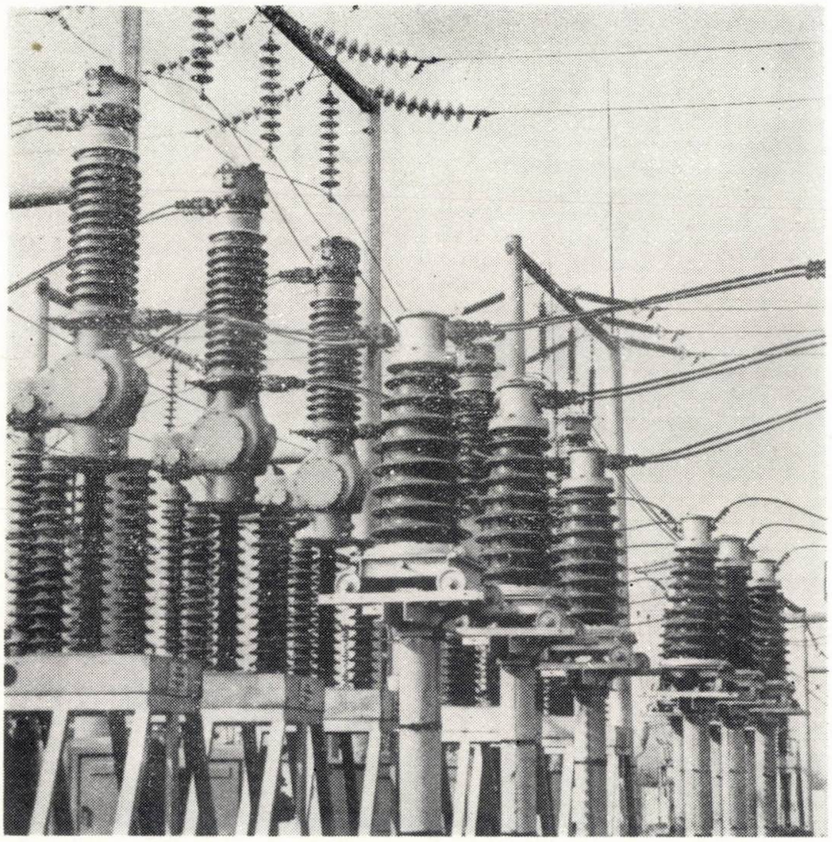
— cazane de abur moderne de mari capacităţi cu parametri ridicaţi
— turbine cu abur pînă la 345 MW
— turbine cu gaze pînă la 35 MW
— turbine hidraulice pînă la 176 MW
— generatoare electrice
— compensatoare sincrone
— instalaţii termomecanice şi hidromecanice pentru centrale termoelectrice şi hidroelectrice
— instalaţii electrice de joasă, înaltă şi foarte înaltă tensiune, aferente centralelor electrice
— instalaţii de măsură, control, automatizare, atît la partea mecanică cît şi la partea electrică.

# TCME

● **Lucrările de construcţii şi montaje se execută de către Trustul de Construcţii şi Montaje Energetice prin metode tehnologice moderne de mari productivităţi, în durate de timp minime şi la un înalt grad de calitate.**

# TRUSTUL DE CONSTRUCŢII ŞI MONTAJE ENERGETICE

București, Calea Moşilor nr. 158
Tel. 16.63.30, Telex : 271



# IRE CONSTANȚA

*proiectează și execută :*

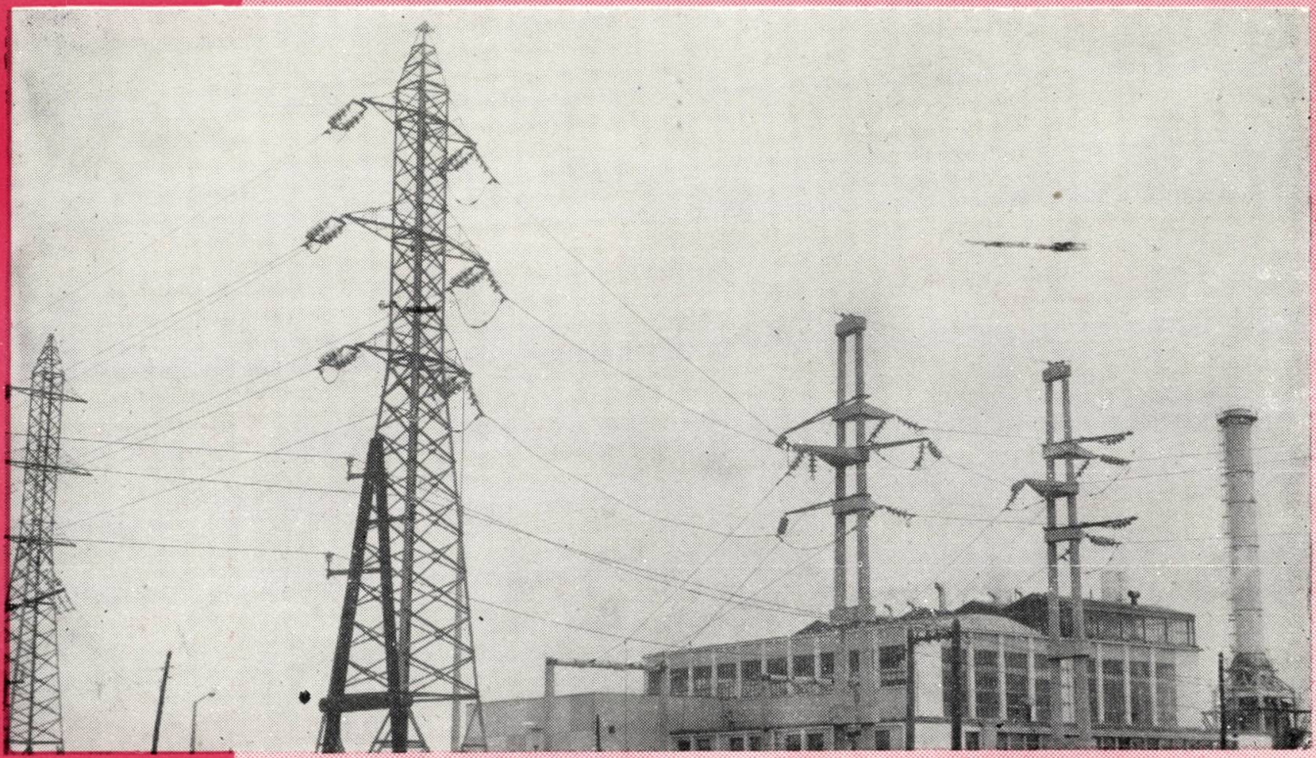
— rețele de joasă tensiune
— stații și posturi de transformare
— instalații de iluminat exterior
— instalații de electrificare în mediu rural
— instalații interioare
— branșamente

*transportă și distribuie :*

energie electrică prin rețele de înaltă și joasă tensiune, asigurînd buna deservire a consumatorilor din sectorul industrial, agricol și casnic.

**ÎNTREPRINDEREA DE REȚELE ELECTRICE–CONSTANȚA**

**Str. Anton Nițescu nr. 77**



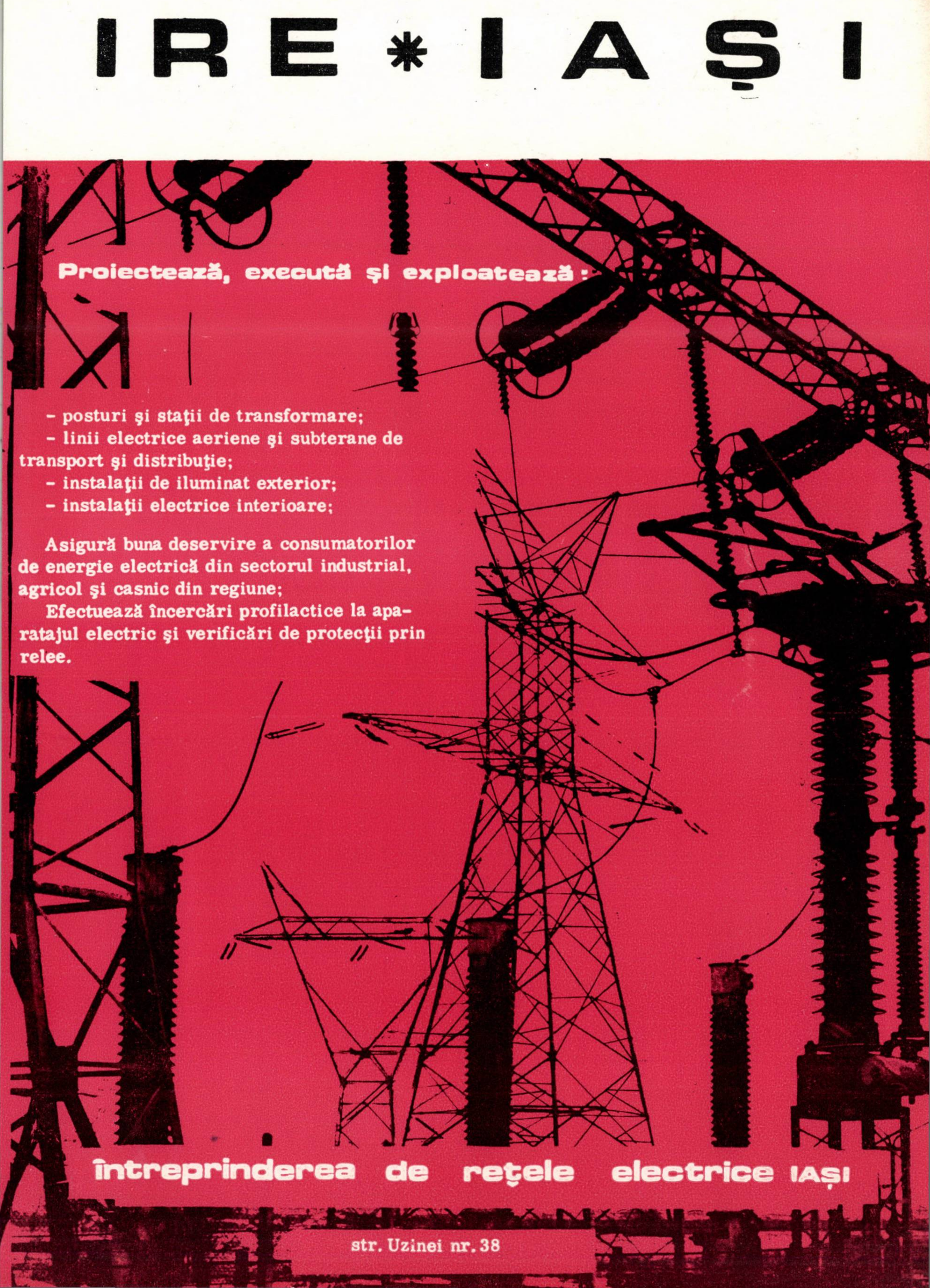
# I.E.C. ORADEA

CET Oradea, cu o putere totală instalată de 105 MW şi dispunînd de trei cazane de apă fierbinte de cîte 100 Gcal/h, asigură necesităţile de energie electrică şi căldură ale consumatorilor din municipiul Oradea şi împrejurimi, la un înalt grad de siguranţă şi calitate.

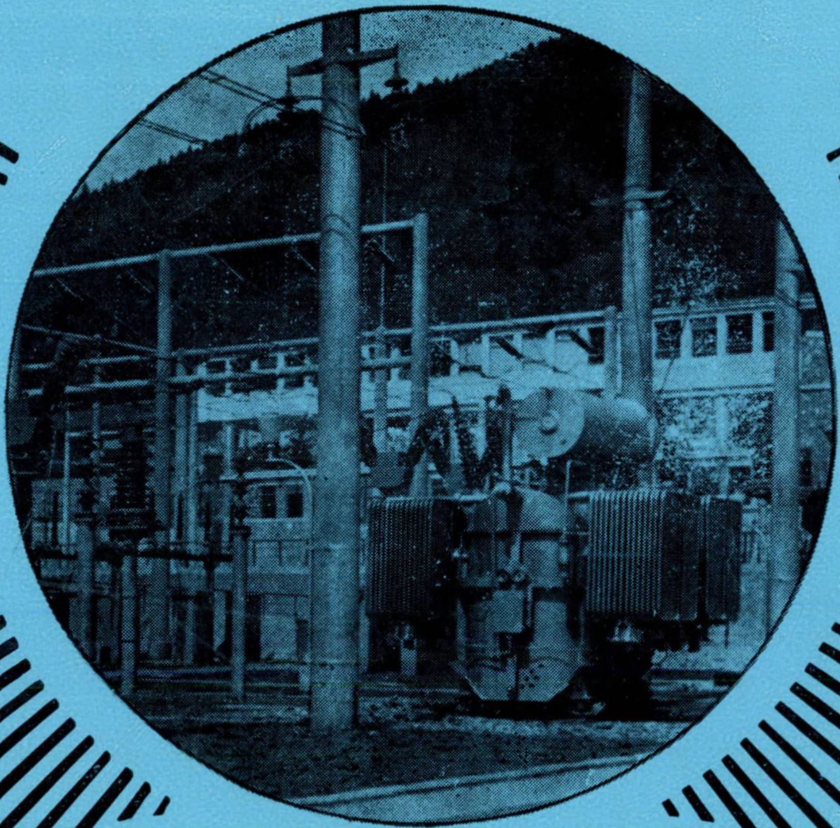
CET Arad, CET Timişoara şi CET Reşiţa furnizează căldură consumatorilor industriali şi ridică gradul de siguranţă în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor din zonele respective.

ÎNTREPRINDEREA ELECTROCENTRALE — ORADEA

ŞOS. BORŞULUI, km 5


IRE * IAȘI
Proiectează, execută și exploatează:
- posturi și stații de transformare;
- linii electrice aeriene și subterane de transport și distribuție;
- instalații de iluminat exterior;
- instalații electrice interioare;
Asigură buna deservire a consumatorilor de energie electrică din sectorul industrial, agricol și casnic din regiune;
Efectuează încercări profilactice la aparatajul electric și verificări de protecții prin relee.
întreprinderea de rețele electrice IAȘI
str. Uzinei nr. 38

# întreprinderea de rețele electrice PLOIEȘTI



• **PROIECTEAZĂ, EXECUTĂ ȘI EXPLOATEAZĂ**

posturi și stații de transformare, linii electrice aeriene și subterane de transport și distribuție, instalații de iluminat exterior, instalații electrice interioare

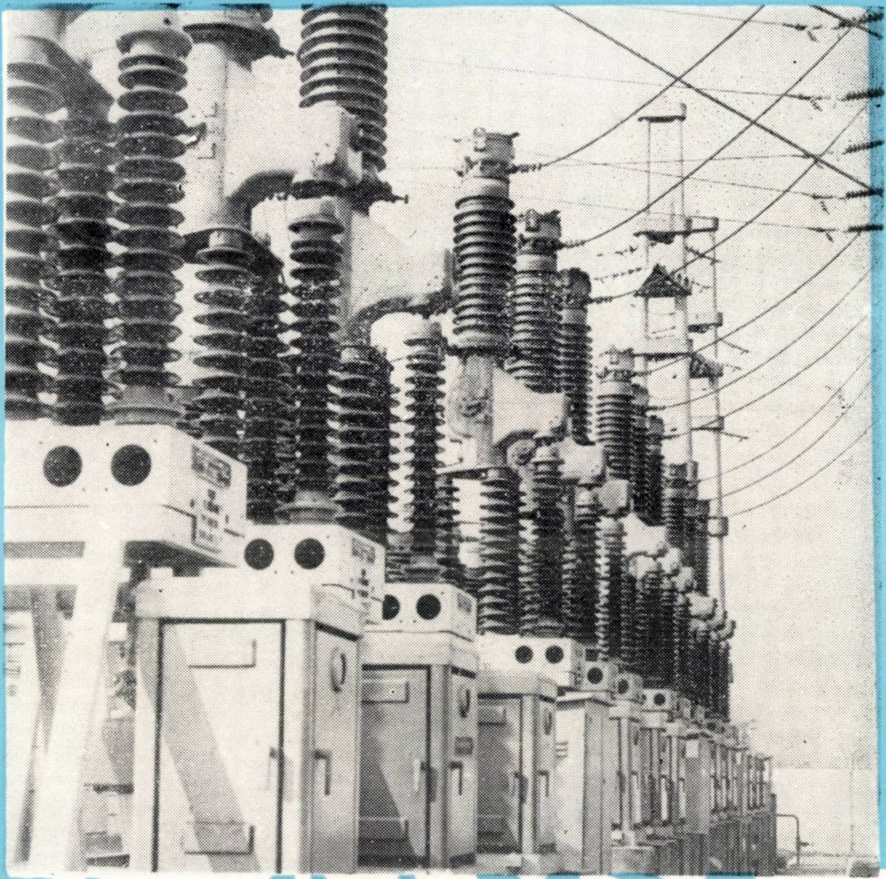
• **EFECTUEAZĂ**

încercări profilactice la aparatajul electric și verificări de protecție prin relee

• **ASIGURĂ**

buna deservire a consumatorilor de energie electrică din sectorul industrial, agricol și casnic din zonă

*ÎNTREPRINDEREA DE REȚELE ELECTRICE PLOIEȘTI*



ÎNTREPRINDEREA

# ELECTROMONTAJ

## BACĂU

Execută :

. Linii electrice de transport pentru tensiuni pînă la 400 kV
. Linii electrice de distribuţie de înaltă, medie şi joasă tensiune
. Reţele electrice în cablu subteran pînă la 35 kV
. Staţii de transformare
. Staţii de distribuţie şi posturi de transformare
. Reţele de iluminat public
. Electrificări rurale

Bacău, şos. Bucureşti, nr. 3

# întreprinderea de reţele electrice CRAIOVA

Str. Brestei nr. 5

Transportă şi distribuie energie electrică, în reţele electrice de joasă, medie, înaltă şi foarte înaltă tensiune, asigurînd buna deservire a consumatorilor de energie electrică din sectorul industrial, agricol, fero - viar şi casnic din regiune.

Execută:

- linii electrice de 6, 15 şi 35 kV
- linii electrice de joasă tensiune pentru electri - ficări urbane şi rurale
- posturi şi staţii de transformare
- instalaţii electrice interioare şi branşamente
- reparaţii şi verificări de transformatoare de forţă
- reparaţii şi verificări de aparate electrice de măsură şi control, prin laboratoarele proprii PRAM

Intocmeşte:

- studii tehnico-economice pentru lucrări noi şi îmbunătăţirea instalaţiilor existente
- proiecte de execuţie pentru linii aeriene şi subterane, posturi şi staţii de transformare,
- instalaţii de iluminat exterior

I.R.E. CRAIOVA

ÎNTREPRINDEREA

# energoconstrucţia

BUCUREŞTI

EXECUTĂ LUCRĂRI DE CONSTRUCŢII ENERGETICE :

- Centrale termoelectrice
- Termoficări urbane şi industriale
- Construcţii hidrotehnice aferente centralelor termoelectrice
- Amenajări constructive pentru staţii de transformare de 110, 220, 400 kV
- Coşuri de fum cu înălţimi pînă la 250 m
- Turnuri de răcire cu tiraj natural şi tiraj forţat

LA EXECUTAREA LUCRĂRILOR SE FOLOSESC CELE MAI MODERNE METODE ŞI PROCEDEE TEHNOLOGICE :

- Glisări de structuri spaţiale şi plane din beton armat
- Glisări de coşuri de fum
- Montare de prefabricate grele din beton armat
- Structuri metalice

# I. R. E.
# BAIA MARE

*ASIGURĂ*

**alimentarea cu energie electrică din sistemul energetic național a tuturor consumatorilor din zonă, în condiții de siguranță și de bună calitate.
Instalațiile sale de producere, transport și distribuție dispun de echipamente moderne și sînt exploatate la un înalt grad de tehnicitate.**

*ASIGURĂ*

**solicitanților proiectarea și executarea instalațiilor necesare pentru alimentarea cu energie electrică.**

**ÎNTREPRINDEREA DE REȚELE ELECTRICE**

**BAIA MARE** Str. Victoriei nr. 66

Centrala electrică de termoficare - BRAZI

● *PRIN CENTRALELE SALE ELECTRICE, IEC PLOIEȘTI FURNIZEAZĂ ENERGIE ELECTRICĂ SISTEMULUI ENERGETIC NAȚIONAL.*

● *PRIN CENTRALA ELECTRICĂ DE TERMOFICARE BRAZI SE LIVREAZĂ CĂLDURĂ CONSUMATORILOR DE PE PLATFORMA INDUSTRIALĂ BRAZI, SERELOR ȘI ANSAMBLELOR DE LOCUINȚE DIN MUNICIPIUL PLOIEȘTI*

● *CENTRALA TERMOELECTRICĂ DOICEȘTI LIVREAZĂ ȘI CENUȘĂ PENTRU FABRICAREA BETONULUI CELULAR AUTOCLAVIZAT ȘI A CIMENTURILOR SPECIALE.*

**ÎNTREPRINDEREA ELECTROCENTRALE PLOIEȘTI**

INTREPRINDEREA

# Energomontaj

ESM

*Exécute:*

- Le montage, la mise en fonction et la mise en exploitation des équipements et installations énergétiques pour centrales thermiques et hydro-électriques :

ÉQUIPEMENTS ET INSTALLATIONS POUR CENTRALES THERMIQUES ET CENTRALES POUR LA PRODUCTION COMBINÉE CHALEUR/FORCE :

- chaudières à vapeur de grande capacité et à paramètres élevés de fonctionnement
- turbines à vapeur de puissances unitaires jusqu'à 350 MW
- installations de combustible pour : charbon, mazout, gaz
- autres installations méchaniques, afférentes aux centrales thermiques : récipients, conduites, pompes etc.

ÉQUIPEMENTS ET INSTALLATIONS POUR CENTRALES HYDRO-ÉLECTRIQUES ET INSTALLATIONS HIDROTECHNIQUES :

- turbines hydrauliques de tout type, à puissances unitaires jusqu'à 176 MW
- conduites forcées
- équipements et autres installations mécaniques pour centrales hydro-électriques et thermiques
- équipements et installations pour écluses

ÉQUIPEMENTS ET INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES POUR CENTRALES THERMIQUES, HYDRO-ÉLECTRIQUES, POSTES DE TRANSFORMATEURS ET INSTALLATIONS SPÉCIALES

- installations de commutation primaire jusqu'à une tension de 400 kV y compris
- installations pour les services auxiliaires aux centrales et postes de transformateurs
- installations de commutation secondaire
- installations d'automatisation, etc.

*Carries out :*

Erection, operation and commissioning of power equipments and installations for thermal and hydro-electric power plants

INSTALLATIONS AND EQUIPMENTS FOR THERMAL POWER PLANTS AND FOR COMBINED HEAT AND POWER PLANTS :

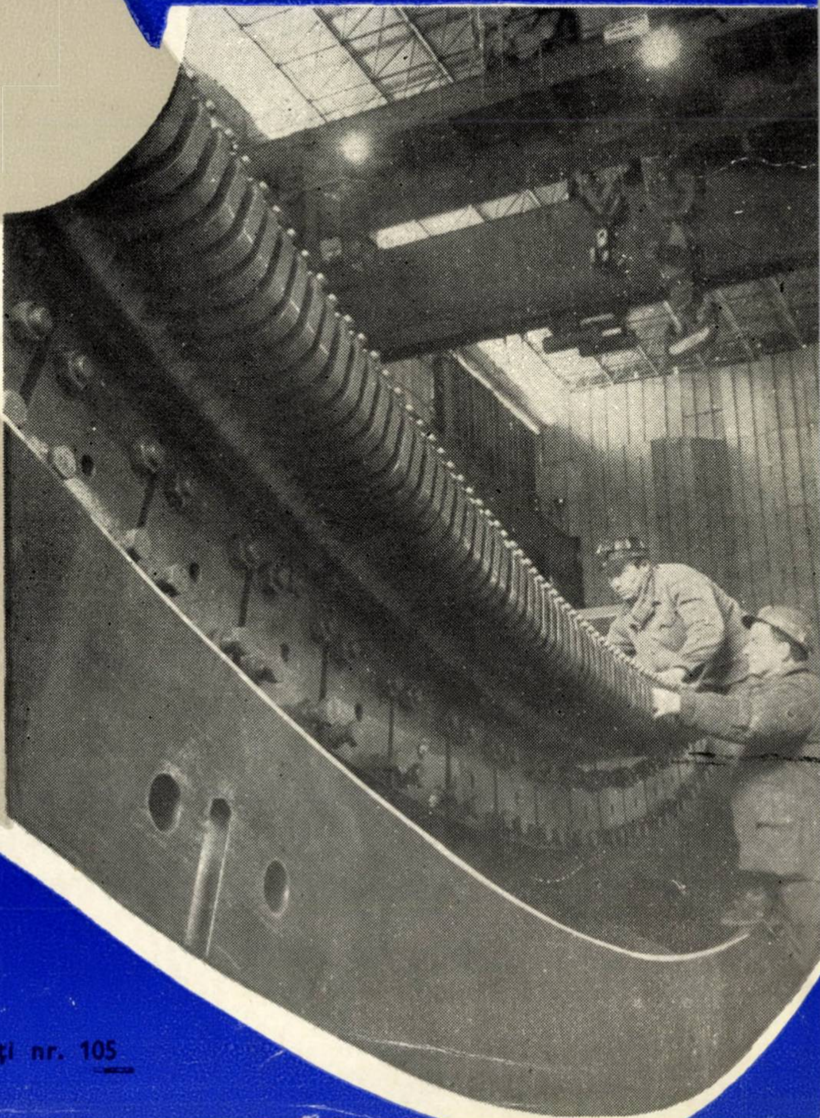
- boilers of high capacity and high operational parameters
- steam turbines up to 350 MW per unit
- fuel installations for : coal, fuel-oil, gas
- other mechanic equipment necessary for thermal power plants : tanks, pipes, pumps, etc.

EQUIPMENTS FOR HYDRO-ELECTRIC POWER PLANTS AND HYDRO-TECHNICAL INSTALLATIONS :

- hydraulic turbines of all types, up to 176 MW per unit
- penstocks
- other mechanic equipment for hydro-electric power plants
- equipments and installations for locks

ELECTRIC EQUIPMENT FOR THERMAL AND HYDRO-ELECTRIC POWER PLANTS, SUBSTATIONS, TRANSFORMER POSTS AND SPECIAL INSTALLATIONS :

- primary switching installations up to 400 kV
- indoor service installations in power plants and transformer posts
- secondary switching installations
- automation equipment, etc.

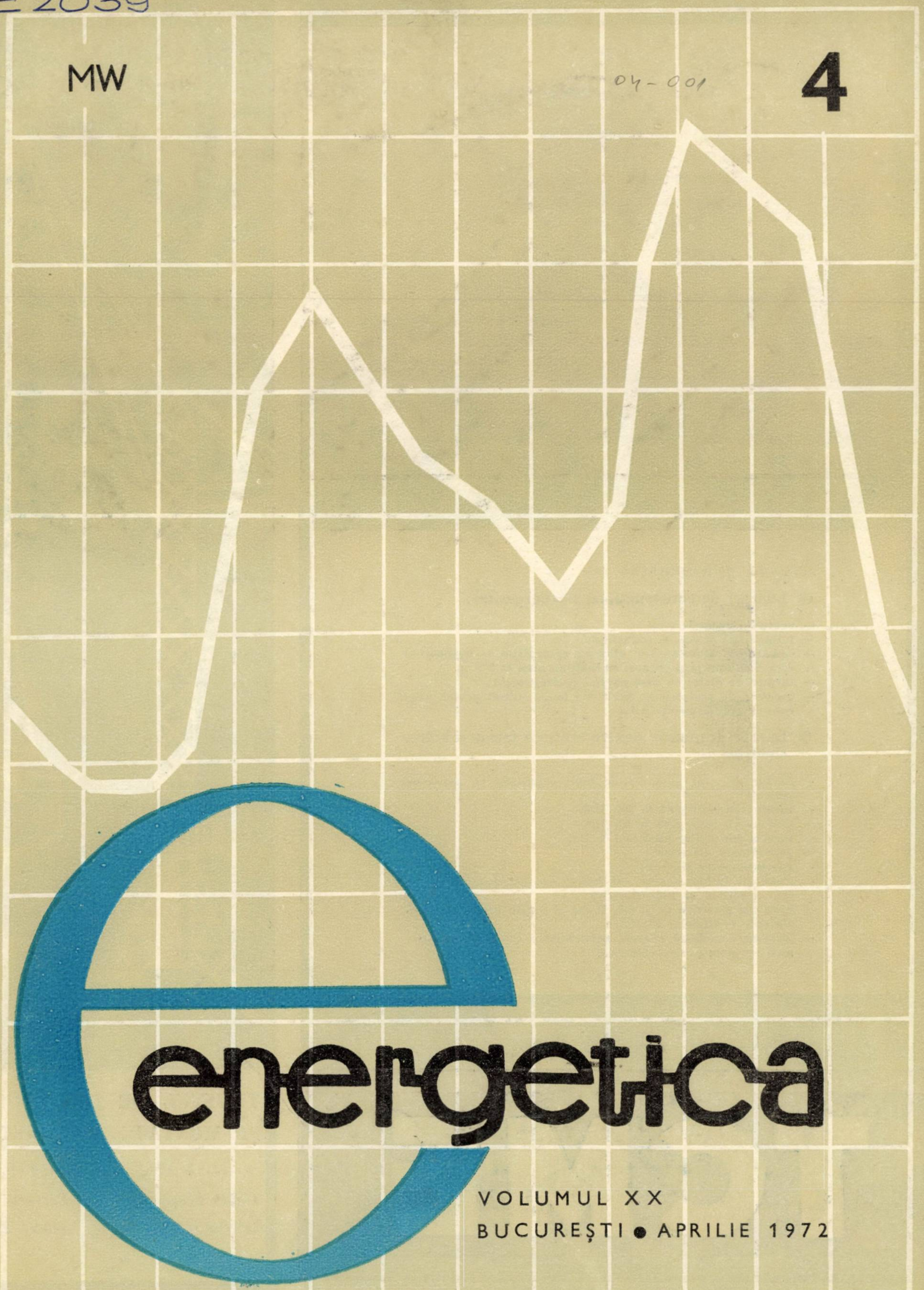


BUCUREŞTI, Sectorul 1, Calea Dorobanţi nr. 105
Tel. : 12.76.30, telex : 335

E 2039

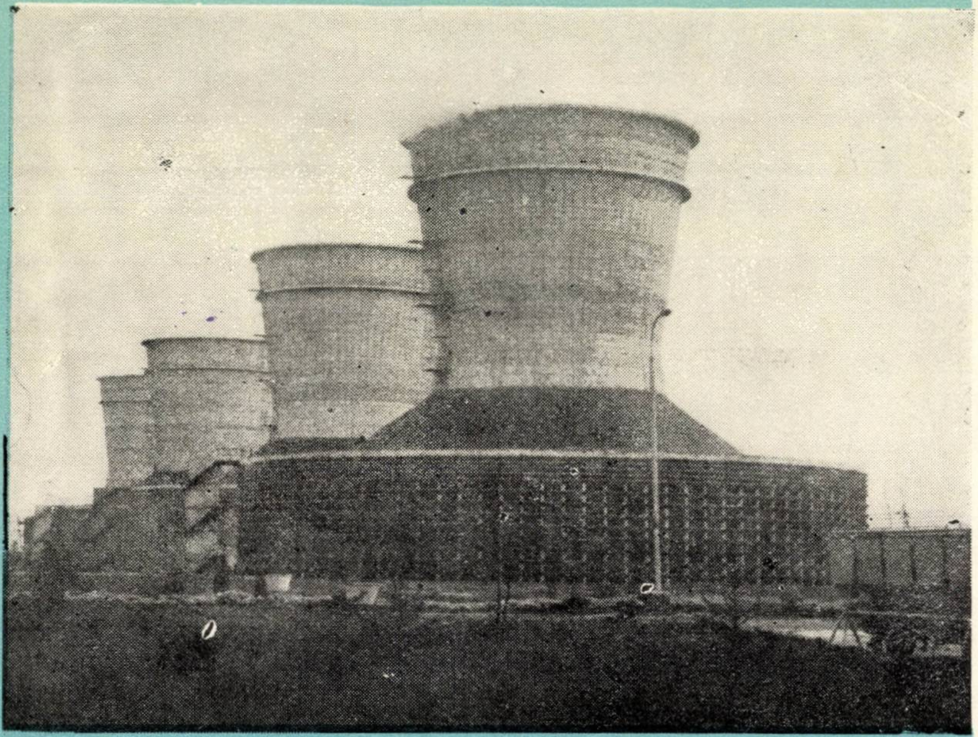
04-001

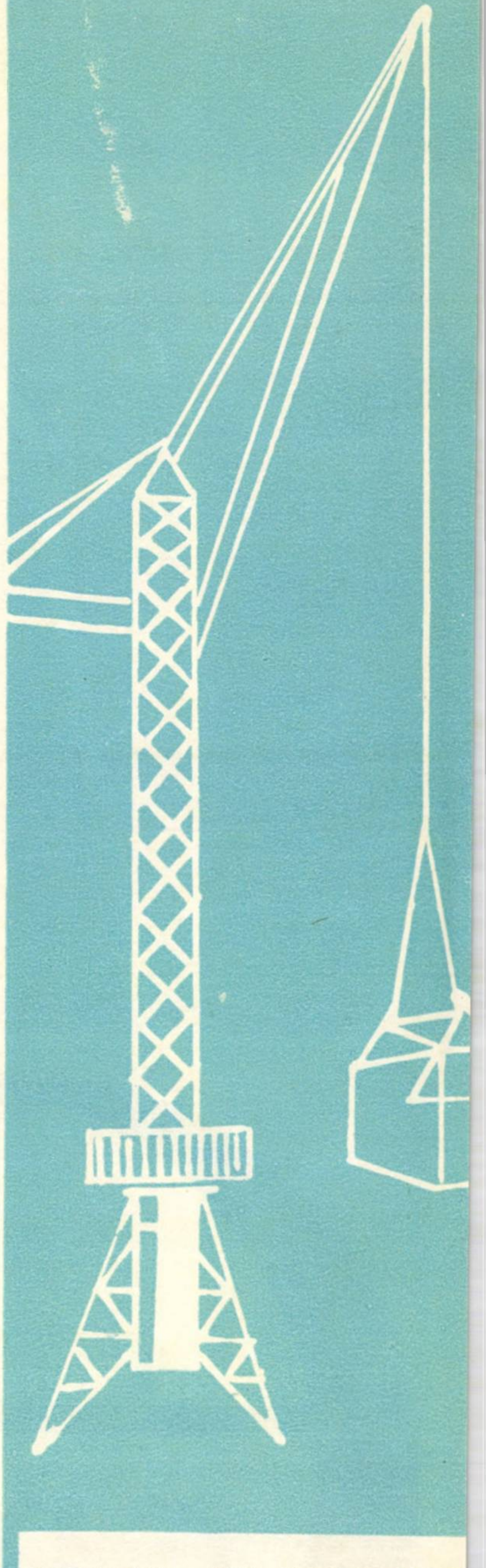
4




# energetica

VOLUMUL XX
BUCUREȘTI • APRILIE 1972






Execută prin unităţile sale :

- **Lucrări de construcţii termoenergetice :**

— centrale termoelectrice
— termoficări urbane şi industriale
— construcţii hidrotehnice aferente centralelor termoelectrice
— coşuri de fum prin glisare, cu înălţimi pînă la 250 m
— turnuri de răcire cu tiraj natural şi tiraj forţat
— montaje de prefabricate grele din beton armat pentru orice construcţie termoenergetică

- **Lucrări de montaj pentru centrale termo şi hidroelectrice :**

— cazane de abur moderne de mari capacităţi cu parametri ridicaţi
— turbine cu abur pînă la 345 MW
— turbine cu gaze pînă la 35 MW
— turbine hidraulice pînă la 176 MW
— generatoare electrice
— compensatoare sincrone
— instalaţii termomecanice şi hidromecanice pentru centrale termoelectrice şi hidroelectrice
— instalaţii electrice de joasă, înaltă şi foarte înaltă tensiune, aferente centralelor electrice
— instalaţii de măsură, control, automatizare, atît la partea mecanică cît şi la partea electrică.

# TCME

**TRUSTUL DE CONSTRUCŢ ŞI MONTAJE ENERGETIC**

*— B U C U R E Ş T I —*

*Calea Moşilor nr. 158 Sectorul 4*

*telefon : 16.63.30. telex 271*

# ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 1972 Nr. 4 Aprilie

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁR ÉS DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT 1883

## Cuprinsul


| | | Pag |
|---|---|---|
| *Mark, D.* | Verificarea calităţii echipamentului electric de înaltă tensiune în condiţii similare celor din exploatare | 133—139 |
| *Lup, L.* | Influenţa mărimii puterii unitare a blocurilor termoenergetice asupra siguranţei sistemelor electroenergetice | 139—142 |
| *Oprişiu, N.* | Separarea automată a CET Galaţi faţă de sistemul energetic la apariţia pendulaţiilor în sistem. Descrierea instalaţiei, mod de funcţionare, regimuri | 143—146 |
| *Bogdan, C.* şi *Staadecker, M.* | Aspecte legate de utilizarea metodei eliminărilor multiple şi a metodei eliminărilor ordonate în calculul echivalenţilor REI | 146—149 |
| *Porţeanu, M.* şi *Săndulescu, M.* | Aspecte tehnico-economice privind tranzistorizarea circuitelor de comandă şi semnalizare din staţii electrice de 10, 20, şi 35 kV | 149—157 |
| *Alexe, Fl.* şi *Barasch, M.* | Studiul proceselor dinamice din reactoarele nucleare energetice cu ajutorul calculatoarelor analogice | 157—162 |
| *Chirica, M.* şi *Ionescu, E.* | Funcţionarea instalaţiei de pretratare a apei montată la CET Govora | 162—166 |
| *Nicu, Vl.* | Consideraţii cu privire la perioada optimă de revizie a condensatorului turbinelor de termoficare | 166—168 |

CRONICĂ

RECENZII

INFORMAŢII


COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. univ. emerit ing. I. D. STĂNCESCU, redactor responsabil, ing. G. IORGULESCU, redactor responsabil adjunct, conf. ing. I. A. BADEA, ing. ST. BERENGHI, conf. ing. A. COGĂLNICEANU, dr. ing. P. DIMO, membru corespondent al Academiei Republicii Socialiste România, laureat al Premiului de Stat, ing. H. FURTUNESCU, ing. P. IFTIME, ing. L. LUCA, ing. B. MARCU, dr. ing. A. MĂCRIŞ, conf. ing. C. MIHĂILEANU, prof. dr. ing. V. I. NIŢU, ing. A. SPÎNU, ing. R. ZANE

OFICIUL DE DOCUMENTARE ENERGETICĂ

# I.S.P.E.

INSTITUTUL DE STUDII ȘI PROIECTĂRI ENERGETICE (L'Institut d'Études et de Projets Énergétiques), organisme de spécialité du Ministère de l'Énergie Électrique, exécute des études et des projets nécessaires à la réalisation des plans d'électrification, à l'extension et à la modernisation des installations énergétiques existantes, au fonctionnement en conditions économiques et de sécurité des réseaux électriques

- établit des projets techniques et d'exécution pour centrales thermiques et centrales à production combinée chaleur/force, postes d'interconnexions et de transformateurs, lignes électriques de transport et de distribution
- accorde assistance technique pour la réalisation des projets au paramètres projetés
- exécute des études d'électrification, conformément aux données de terrain: topographiques, géologiques, géotechniques et des études techniques et économiques pour la fondamentation des investissements énergétiques de tout genre
- établit les plans d'électrification courante et de perspective pour des pays, régions ou villes
- établit les projets des installations et des réseaux de chauffage pour utilisations urbaines et industrielles
- élabore des études concernant l'établissement des régimes de fonctionnement et de sécurité des réseaux électriques
- élabore des études méthodologiques et algorithmes de calcul et effectue, par ses installations modernes, tous les calculs nécessaires pour la résolution de différents problèmes d'études et de projets du domaine des réseaux électriques ou des élements de ceux-ci

INSTITUTUL DE STUDII ȘI PROIECTĂRI ENERGETICE (The Institute for Power Studies and Designs), the specialised body of the Ministry of Electric Energy, carries out studies and designs required for the achievement of the electrification plans, the extension and modernization of the existing power equipment, and for the electric networks operation in economic and safety conditions

— draws up technical and construction designs for thermal power plants and combined heat and power plants, substations and transformer posts, transmission and distribution lines
— lends technical assistance for achieving the designs at the designed parameters
— carries out electrification studies based on field data such as surveying, geological and geotechnical data, and technical and economical studies in order to justify the power investments of any kind
— draws up current and prospective electrification plans for countries, regions and towns
— designs equipment and heat networks for urban and industrial purposes
— elaborates studies for establishing the power regime and safety operation
— elaborates methodological studies and computing algorithms and carries out on its modern equipment the computations required for solving different studies and design problems in the field of electric networks and their elements

*Collabore avec des entreprises et organisations étrangères pour des travaux de spécialité et accorde sur demande tout service de specialité dans le domaine énergétique.*

*Cooperates with foreign firms and organizations for specialised works and gives, on demand, all kind of engineering assistance in the power industry field.*

*BUCUREȘTI.*
*Bd. Lacul Tei nr. 1,*
*Tel. 12.19.70, 12.71.41*
*Telex. 011.177*

NSTITUTUL DE STUDII ȘI PROIECTĂRI ENERGETICE

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁR ÉS DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT 1983

# СОДЕРЖАНИЕ

DK 621.313./316.004.64 : 519.2
*Марк, Д.:* **Вопросы надежности электрического оборудования высокого напряжения**
Energetica 20 (1972), № 4. стр. 133–139

DK 621.311.1.13
*Луп, Л.:* **Влияние величины единичной мощности теплоэнергетических блоков на надежность электроэнергетических систем**
Автор представляет влияние величины единичной мощности теплоэнергетических блоков на эффектвной потребляемую мощность и выработанную энергию в энергетической системе.
Energetica 20 (1972), № 4, стр. 139–142

DK 621.3.016.352 : 621.311.22.004.13
*Опришиу, Н.:* **Автоматическое выключение ТЭС Галаци от энергетической системы при появлении пертурбаций в системе. Описание установки, способ работы, режимы**
Описваются принятые методы и установки для изоляции групп в одной станции, имеющей значительные потребители, при пертурбациях в системе, представляя и некоторые теоретические соображения.
Energetica 20 (1972), № 4, стр. 143–146

DK 517.2 : 621.311.1
*Богдан, К.* и *Стаадекер, М.:* **Аспекты, касающиеся применения метода многочисленных исключений и метода порядковых исключений в расчете эквивалентов РЭС (радиально, эквивалентно, самостоятельно)**
Представляются результаты, достигнутые в стране по двум расчетным методам для определения синтетических эквивалентов, по которым можно производить и расчеты режимов.
Energetica 20 (1972), № 4, стр. 146–149

DK 621.316.37 : 621.382.23 : 621.311.42
*Порцеану, М.* и *Сэндул.ску, М.:* **Технико-экономические аспекты, касающиеся транзисторизации цепей управления и сигнализации в электростанциях 10, 20, 35 кв**
В работе даются оценки стоимости устройств управления и сигнализации, осуществленных транзисторизированными цепями, а также и оценки о той области, в которой последние становятся допустимыми.
Energetica 20 (1972), № 4, стр. 149–157

DK 621.039.577.001.3
*Алексе, Фл.* и *Бараш, М.:* **Исследование динамических процессов в ядерно-энергетических реакторах**
Работа представляет собой обзор применений электронического моделирования в изучении динамического поведения ядерных реакторов.
Energetica 20 (1972), № 4, стр. 157–162

DK 621.187.12.004.13
*Кирика, М.* и *Ионеску, Э.:* **Работа установкидля предварительной обработки воды у ТЭС Говора**
Излогается практический вопрос эксплуатации новой установки специального назначения.
Energetica 20 (1972), № 4, стр. 162–166

DK 621.175.63.004.5
*Нику, Вл.:* **Соображения по оптимальному ремонтному периоду конденсатора теплофикационных турбин**
Определяется срок работы конденсационной турбины с регулируемым отбором, между двумя остановками для очистки конденсатора, минимальным уменьшением общего расхода теплоты.
Energetica 20 (1972), № 4 стр. 166–168

## ПОПРАВКА

Резюме статьи „О длине проводников высоковольтных воздушных линий", инж. Г. Николау, опубликованной в нр. 12/1971, надо правильно читать так:

„Исходя от кривой $\sigma = f$ (ε), экспериментально построенной при исследованиях, проведенных Политехническим Институтом Бухарест и Институтом энергетических исследований и проектирования, автор описывает оригинальный аналитический метод решения вопроса с помощью небольших ЭЦВМ".

# INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.313/316.004.64 : 519.2
*Mark, D.* : **Fragen der Betriebssicherheit von Hochspannungsanlagen**
Energetica 20 (1972), H. 4, S. 133–139

DK 621.311.1.13
*Lup, L.* : **Der Einfluss der Leistungsgrösse jedes einzelnen Dampfturbinensätze auf die Betriebssicherheit der von diesen gespeisten Verbundnetzen**
Der Verfasser untersucht den Einfluss der Leistungsgrösse der einzelnen Sätze aus Dampfkraftwerken auf die tatsächlich verfügbare Leistung und auf die erzeugte Energie.
Energetica 20 (1972), H. 4, S. 139–142

DK 621.3.016.352 : 621.311.22.004.13
*Oprişiu, N.* : **Automatische Trennung des Industriekraftwerks Galaţi vom Landesverbundnetz bei Auftreten von Pendelschwingungen im Netz — Beschreibung der Anlagen, Betriebsweise, Betriebsregime**
Es werden Verfahren und Anlagen für Isolierung eines, bedeutende Verbraucher versorgenden Kraftwerks bei Auftreten von Störungen im Verbundnetz beschrieben. In diesem Zusammenhang werden einige theoretische Betrachtungen angestellt.
Energetica 20 (1972), H. 4, S. 143–146

DK 517.2 : 621.311.1
*Bogdan, C.* und *Staadecker, M.* : **Merkmale der Anwendung des Verfahrens vielfach tortgesetzter Abschaltungen und des Verfahrens geordneter Abschaltungen bei Berechnung der REI (Radial-Equivalent-Independent)-Werte**
Es werden die in Rumänien an Hand von zwei Berechnungsverfahren für Ermittlung synthetischer Aequivalenzen ergebenen, auch für Berechnung von Betriebszuständen von Netzen anwendbaren Daten dargestellt.
Energetica 20 (1972), H. 4, S. 146–149

DK 621.316.37 : 621.382.3 : 621.311.42
*Porţeanu, M.* und *Săndulescu, M.* : **Technische und wirtschaftliche Aspekte der Transistorisierung der Steuer-und Meldekreise in 10, 20 und 35 kV-Schaltwarten**
Die kosten mit transistorisierten Kreisen ausgestatteten Steuer-und Meldeeinrichtungen werden Schätzungsweise angegeben, mit Hinweis auf den Bereich in denen die Tragbar erscheinen.
Energetica 20 (1972), H 4, S. 149–157

DK 621.039.577.001.3
*Alexe, Fl.* und *Barasch, M.* : **Untersuchung in Reaktoren von Kernkraftwerken ablaufender dynamischer Prozesse**
Der Aufsatz enthält eine Übersicht der Anwendung elektronischer Modellierung bei Untersuchung des dynamischen Verhaltens von Kernreaktoren.
Energetica 20 (1972), H 4, S. 157–162

DK 621.187.12.004.13
*Chirica, M.* und *Ionescu, E.* : **Betriebsergebnisse der im Industriekraftwerk Govora errichteten Aufbereitungs Vorstufe für Kesselspeisewasser**
Es handelt sich um eine praktische Frage aus dem Betrieb einer neuen Anlage mit besonderen Aufgabe.
Energetica 20 (1972), H 4, S. 162–166

DK 621.175.63.004.5
*Nicu, Vl.* : **Betrachtungen über optimale Überholungsdauer von Dampfkondensatoren bei Fernheizturbinen**
Es wird die Betriebsdauer einer Kondensationsturbine mit Regelbarer Dampfentnahme zwischen zwei Stillegungen für Säuberung des Kondensators ermittelt, bei grösstmöglicher Reduzierung des gesamten Wärmeverbrauchs.
Energetica 20 (1972), H. 4, S. 166–168

## RICHTIGSTELLUNG

Die Kurzfassung des Artikels „Betrachtungen über die Ausspannung von Freileiterseilen" von Ing. Gh. Nicolau, veroffentlicht in der Nummer 12/1971 muss korrekt wie folgt lauten: „Ausgehend von der Kurve $\sigma = f$ (ε), die Versuchsweise im Rahmen von Forschungen, die seitens des Polytechnischen Instituts Bukarest und dem Institut für energetische Studien ung Projekte unternommen wurden, erstellt wurde, beschreibt der Autor eine originale analytische Methode für die Lösung der Aufgabe mit Hilfe von numerischen Komputern geringen Kapazität.

# SOMMAIRE

CD 621.313/316.004.64 : 519.2

*Mark, D.* : **Problèmes de la fiabilité de l'équipement électrique de haute tension**

Energetica 20 (1972), nr. 4, p. 133–139

CD 621.311.1.13

*Lup, L.* : **Influence de la grandeur de la puissance unitaire des tranches thermiques sur la fiabilité des réseaux électriques**

Description de l'influence de la grandeur de la puissance unitaire des tranches thermiques sur la puissance effective utilisable et l'énergie produite dans un réseau.

Energetica 20 (1972), nr. 4, p. 139–142

CD 621.3.016.352 : 621.311.22.004.13

*Oprişiu, N.* : **Séparation automatique de la centrale à production combinée chaleur/force de Galaţi, du réseau national, au moment de l'apparition d'oscillations dans le réseau. Description de l'installation, modes de fonctionnement, régimes**

L'auteur décrit les méthodes et les installations servant à isoler les groupes d'une centrale avec des consommateurs importants, en cas de perturbation dans le réseau, et présente quelques considérations théoriques.

Energetica 20 (1972), nr. 4, p. 143–146

CD 517.2 : 621.311.1

*Bogdan, C.* et *Staadecker, M.* : **Quelques aspects reliés à l'application de la méthode des éliminations multiples et de la méthode des éliminations ordonées dans le calcul des équivalents REI (Radial-Equivalent-Indépendant)**

On présente les résultats obtenus en Roumanie, par l'emploi de deux méthodes de calcul, pour établir des équivalents synthétiques pouvant être utilisés dans le calcul des régimes.

Energetica 20 (1972), nr. 4, p. 146–149

CD 621.316.37 : 621.382.3 : 621.311.42

*Porfeanu, M.* et *Săndulescu, M.* : **Aspects techno-économiques de la transistorisation des circuits de commande et de signalisation dans les postes électriques à 10, 20 et 35 kV**

Il s'agit d'une estimation du coût des installations de commande et de signalisation, réalisées avec des circuits transistorisés, ainsi que d'appréciations sur le domaine où ces derniers deviennent acceptables.

Energetica 20 (1972), nr. 4, p. 149–157

CD 621.039.577.001.3

*Alexe, Fl.* et *Barasch, M.* : **L'étude des processus dynamiques dans les réacteurs nucléaires énergétiques**

Cet article passe en revue quelques applications des modèles électroniques dans l'étude du comportement dynamique des réacteurs nucléaires.

Energetica 20 (1972), nr. 4, p. 157–162

CD 621.187.12.004.13 162–166

*Chirica, M.* et *Ionescu, E.* : **Le fonctionnement du poste de pré-traitement de l'eau monté dans la centrale à production combinée chaleur/force de Govora**

Les auteurs traitent un problème pratique de l'exploitation d'une installation nouvelle ayant des fonctions spéciales

Energetica 20 (1972), nr. 4, p. 162–166

CD 621.175.63.004.5

*Nicu, Vl.* : **Considérations sur la période optimum de révision du condensateur des turbines à extraction**

L'auteur établit la durée de fonctionnemment d'une turbine à condensation et extractions réglables, entre deux arrêts pour nettoyage du condensateur, avec réduction au minimum de la consommation totale de chaleur.

Energetica 20 (1972), nr. 4, p. 166–168

## RECTIFICATION

Le résumé de l'article "Considérations sur le posage des conducteurs de lignes électriques aériennes", auteur Gh. Nicolau, publié dans le numéro 12/1971, doit être lû correctement comme suit:

"En partant de la courbe $\sigma = f(\varepsilon)$, relevée pendant des recherches expérimentales faites par l'Institut Polytechnique de Bucarest et l'Institut d'Etudes et de Projets Energétiques, l'auteur décrit une méthode analytique originale pour résoudre le problème à l'aide de calculateurs digitaux de petite capacité".

# CONTENTS

DC 621.313/316.004.64 : 519.2

*Mark, D.* **Problems raised by the reliability of the hight voltage power equipment**

Energetica 20 (1972), nr. 4, p. 133–139

DC 621.311.1.13

*Lup, L.* : **Influence of the magnitude of thermal unit power on the reliability of power systems**

The author describes the influence exercised by the magnitude of the unit power in thermal plants on the effectively usable power and the energy supplied by the system.

Energetica 20 (1972), nr. 4, p. 139–142

CD 621.3.016.352:621.311.22.004.13

*Oprişiu, N.* : **The automatic separation from the system of Galaţi combined heat and power plant, following perturbations in the system. Description of the equipment, operation method, conditions**

The author describes the methods and equipments used to isolate units in a power plant having large consumers, in case of perturbations in the system, and presents some theoretical considerations.

Energetica 20 (1972), nr. 4, p. 143–146

DC 517.2 : 621.311.1

*Bogdan, C.* and *Staadecker, M.* : **Some aspects regarding the application of the multiple elimination method and the ordered elimination method in the calculation of REI (Radial-Equivalent-Independent) equivalents**

Here are results obtained in Romania, by applying two methods of calculation to establish some synthetic equivalents which may also be used to calculate operating conditions.

Energetica 20 (1972), nr. 4, p. 146–149

DC 621.316.37 : 621.382.3 : 621.311.42

*Porfeanu, M.* and *Săndulescu, M.* : **Some technical-economic aspects regarding the transistorising of control and warning circuits in substations rated at 10, 20 and 35 kV**

These are estimations on the cost of control and warning equipment using solid-state circuits accompanied by appreciations about the field when they become acceptable.

Energetica 20 (1972), nr. 4, p. 149–157

DC 621.039.577.001.3

*Alexe, Fl.* and *Barasch, M.* : **A study of the dynamic processes in nuclear power reactors**

This is a review of some applications of electronic modelling to investigate the dynamic behaviour of power reactors.

Energetica 20 (1972) nr. 4, p. 157–162

DC 621.187.12.004.13

*Chirica, M.* and *Ionescu, E.* : **The operation of the water pretreatment plant mounted at Govora combined heat and power plant**

The authors deal here with a practical problem raised by the operation of a new plant having special functions.

Energetica 20 (1972), nr. 4, p. 162–166

DC 621.175.63.004.5

*Nicu, Vl.* : **Some considerations about the optimal time of revision of the extraction turbine condenser**

The author establishes the operating time of a condensing turbine with controlled extractions, between two outages for the purpose of cleaning the condenser, by cutting down to the utmost the total heat consumption.

Energetica 20 (1972), nr. 4, p. 166–168

## ERRATUM

The résumé of the article "Considerations on the laying of overhead line conductors" by Gh. Nicolau, carried by no. 12/1971, should correctly read as follows:

"Starting from curve $\sigma = f(\varepsilon)$, experimentally plotted during research work carried out by the Bucharest Polytechnic Institute and the Institute for Power Studies and Design, the author describes an original analytical method for solving the problem by using small digital computers".

# Verificarea calității echipamentului electric de înaltă tensiune în condiții similare celor din exploatare

Ing. D. Mark *)

Decretul 304 din 15 septembrie 1971 stabilește condițiile de calitate ce se impun pentru asigurarea unei funcționări corespunzătoare a echipamentului electric produs în țara noastră și a siguranței în exploatarea acestuia [1].

În legătură cu hotărîrea C.E. al C.C. al P.C.R. privind siguranța în alimentarea consumatorilor de energie electrică și termică, în articolul de față se analizează unele probleme ale echipamentului electric de înaltă tensiune, cu propunerea unor măsuri din partea Inspectoratului de Stat pentru Calitatea Produselor, care să ducă la creșterea siguranței în funcționare a sistemului energetic [2].

Defectele și indisponibilitatea echipamentului de înaltă tensiune se traduc în cheltuieli de investiții prin supraechipări și în cheltuieli de exploatare. Aceasta obligă pe cei care exploatează echipamentul electric de înaltă tensiune ca, pe baza experienței de exploatare, să precizeze noțiunea de siguranță a acestuia și să expliciteze exigențele față de el.

Noțiunea de fiabilitate este astăzi introdusă în diverse domenii ale tehnicii.

Fiabilitatea este probabilitatea ca un echipament sau un element component al acestuia să asigure fără defect operațiile pentru care a fost prevăzut într-o perioadă de timp și în condiții de funcționare definite. Prin introducerea cuvîntului probabilitate, această definiție implică noțiunea de numere mari, respectiv un număr mare de componente fabricate la rîndul lor în număr mare, cum este cazul ansamblurilor electronice, în particular al calculatoarelor electronice. Nu se poate spune că în cazul rețelei de înaltă tensiune ne aflăm în fața unui echipament care să acopere noțiunea numerelor mari.

Din această cauză, în articolul de față cuvîntul fiabilitate nu caracterizează totdeauna o mărime calculabilă, ci o noțiune mai generală care ar putea exprima ,,siguranța în funcțiune'' sau ,,calitatea unui material care are puține defecțiuni''.

Totuși vom folosi și cuvîntul fiabilitate, care este utilizat astăzi cu precădere în special pentru a exprima mai pe scurt noțiunile și pentru că acest cuvînt are în ultimul timp o răspîndire mare în foarte multe domenii.

În cadrul dezvoltării sistemului energetic național s-a acordat o importanță foarte mare problemelor de siguranță în funcționare, atît a centralelor electrice și a stațiilor de transformare și conexiuni, cît și a liniilor de înaltă tensiune. Pe baza experienței dobîndite au fost elaborate metode proprii de calcul al fiabilității schemelor electrice, în condițiile specifice sistemului energetic național [10], [11].

Problema dificilă care apare în rezolvarea fiabilității schemelor de comutație, în special în faza de studiu, care are ca scop stabilirea soluției de principiu, este calculul comparativ al fiabilității pe baza unor indicatori din literatura de specialitate asupra comportării elementelor schemei respective. Din această cauză este necesar să se găsească indicatori de fiabilitate a echipamentului determinați pe baza unor încercări reproductibile, care să poată sta la baza unor calcule de fiabilitate a schemelor.

Cu toate acestea, este de remarcat că de multe ori, chiar dacă determinarea fiabilității conduce la scheme mai bogate, aspectele economice de moment (sau aspectele de import) pot prima în adoptarea unei soluții.

Costul menținerii în serviciu a unui echipament are două componente : cheltuielile de exploatare și cele de investiție.

Primul termen include, între altele, costurile de întreținere, legate direct de fiabilitatea componentelor rețelei, și costul pierderilor sau al utilizării unor surse de energie mai neeconomice, legat indirect de fiabilitate prin indisponibilități.

Al doilea termen depinde de fiabilitatea componentelor sub două aspecte, deoarece se poate obține o aceeași fiabilitate a unei rețele date, fie adoptînd o fiabilitate convenabilă a componentelor acesteia, fie impunînd o supraechipare datorită unei fiabilități imperfecte a componentelor.

Evident, dacă ne limităm la termenul investiții, se găsește un optim intremediar, deoarece un echipament cu componente perfect fiabile nu necesită supraechipări, în schimb costul acestora crește foarte mult, cîtă vreme o fiabilitate necorespunzătoare a componentelor duce la o creștere rapidă a costurilor de investiții prin supraechipări. Calculul acestui optim intermediar ridică unele dificultăți. De exemplu, pentru rețeaua de înaltă tensiune complicarea schemei unei stații nu duce totdeauna la soluția cea mai bună pentru ameliorarea fiabilității rețelei.

Problema determinării acestui optim intermediar impune calculul :

1) costului componentelor ;
2) costului supraechipării ;
3) costului întreținerii ;
4) costului pierderilor datorate defectelor sau economiilor ce se obțin prin supraechipare.

În realitate, în prezent cunoaștem doar date privind costul și comportarea unor componente

*) Mark Dănilă este inginer principal I la I.S.P.E.

MŰSZAKI KÖNYVTÁR ÉS TÁJÉKOZTATÁSI KÖZPONT

în funcţiune, dar nu putem şti nimic (sau aproape nimic) asupra echipamentului care se proiectează sau se va proiecta în viitor.

Aparatajul de înaltă tensiune prezintă două caractere particulare : existenţa lui într-un număr relativ mare (de ordinul miilor şi al zecilor de mii) în sistemul energetic şi faptul că prezintă un număr mare de defecte în exploatare (de exemplu, statistica EdF indică un procent de 8% avarii de întreruptoare pe an, considerînd avarie orice defect al aparatului, chiar dacă acesta nu are urmări în exploatare) [3]. Acest număr de avarii nu este specific numai reţelei franceze şi, deşi numărul de statistici de avarii publicat este redus, se poate spune că situaţia aparatajului din alte ţări nu este mai bună decît cea a aparatajului din Franţa.

O particularitate a întreruptoarelor o constituie faptul că, pe lîngă funcţia obişnuită de închidere sau întrerupere a circuitului în regim normal, ele trebuie să funcţioneze ca element de protecţie pentru o porţiune de reţea cînd în altă porţiune a apărut un defect (să izoleze porţiunea de reţea avariată).

Depanarea unor defecte la întreruptoarele sau separatoarele de sarcină putea fi realizată relativ repede pe vremea cînd în toate staţiile exista personal permanent suficient, dar, prin automatizarea şi telecomanda staţiilor, în prezent este greu de presupus că eliminarea unui defect la un întreruptor se poate realiza în timp foarte scurt. Durata eliminării unor defecte influenţează în mod negativ calitatea în serviciu, ducînd la mărirea timpilor de întrerupere.

O constatare care este valabilă atît pentru întreruptoare cît şi pentru restul echipamentului o constituie faptul că majoritatea avariilor se datorează defectării unor elemente de valoare foarte redusă sau a unor detalii constructive de mică importanţă [3]. Deci o variaţie a fiabilităţii aparatului nu ar duce la o mărire esenţială a investiţiilor şi costul este în orice caz inferior modificărilor care se aduc echipamentului în exploatare în urma unor analize de avarii care depistează elementul slab al acestuia. Aceste considerente, făcute pe baza statisticii de incidente [3], [4], concordă şi cu constatările din reţeaua suedeză de 400 kV prezentate în cadrul CIGRE din 1970. În Suedia pierderile prin întreruperi datorate întreruptoarelor sînt evaluate la 25 pînă la 50% din costul acestora. Chiar dacă aceste valori sînt exagerate, se pune problema unei creşteri a fiabilităţii întreruptoarelor pentru reţelele de foarte înaltă tensiune, deoarece dacă un întreruptor de 220 kV are circa 12 contacte mobile, un întreruptor de 400 kV are pînă la 24, iar unul de 765 kV, cu 10 camere de stingere, va avea circa 100 de contacte mobile. Dacă se extrapolează tehnologia actuală la 1 200—1 500 kV, contactele mobile ar depăşi 200 de bucăţi pe întreruptor. Evident, pentru a menţine cel puţin aceeaşi fiabilitate a acestor întreruptoare cu a celor de 220 kV, ar fi necesară o creştere foarte mare a exigenţei faţă de fiabilitatea elementelor componente. Creşterea fiabilităţii simultan cu creşterea tensiunii de serviciu trebuie avută în vedere, deoarece întreruperile în exploatare reprezintă pierderi mult mai mari pentru reţeaua de foarte înaltă tensiune decît pentru cea de tensiuni mai mici.

Pentru obţinerea unor echipamente cu fiabilitate mai mare, exploatarea poate acţiona în prezent numai în două direcţii, şi anume :

1. Alegerea furnizorului în funcţie de experienţa, nivelul tehnic al încercărilor şi nivelul studiilor pe care le efectuează şi în funcţie de eficienţa controlului fabricaţiei.

Evident, aceasta presupune un oarecare subiectivism pentru echipamentul care se importă în prezent, deoarece fiabilitatea echipamentului depinde în primul rînd de constructorul acestuia.

2. Menţinerea pe timp lung a unui nivel tehnologic dat.

Trebuie remarcat faptul că menţinerea aceluiaşi nivel tehnic nu este suficientă, deoarece aceasta permite constructorului schimbarea fabricaţiei cu modificarea fiabilităţii.

Menţinerea unui tip de fabricaţie cu minimum de modificări va menţine o fiabilitate dată, neputînd conduce la o îmbunătăţire a acesteia. Trecerea la tipuri mai perfecţionate se face în timp lung.

Ambele soluţii au limitări care nu permit în fond stăpînirea fiabilităţii aparatului.

Pentru aceasta este nevoie de introducerea încercărilor convenabile, care să dea indicaţii asupra comportării echipamentului în exploatare. Încercările trebuie să se facă atît pe aparatele cap de serie, cît şi pe elemente prelevate din fabricaţia curentă.

Analizînd o relaţie aproape riguroasă între importanţa acordată astăzi încercărilor electrice şi mecanice şi numărul de avarii electrice, respectiv mecanice, care se înregistrează, se constată că acest raport este :

$$\frac{I_E}{I_M} \simeq \frac{A_M}{A_E} \simeq 10,$$

în care :

$I_E$ reprezintă încercări electrice ;
$I_M$ — încercări mecanice ;
$A_M$ — avarii de natură mecanică ;
$A_E$ — avarii de natură electrică [6].

Aceeaşi constatare se poate face cu privire la costul investiţiilor în laboratoare de încercare. Investiţiile pentru echipamentul de încercare electric sînt mult mai mari decît cele pentru echipamentul de încercare mecanic, adică sînt

invers proporționale cu numărul de avarii. Din această cauză se propun, pe plan internațional, noi încercări ale echipamentului electric, care să poată contribui la o mai bună determinare a fiabilității acestuia.

În privința aparatajului de înaltă tensiune fabricat în țară, singurul furnizor fiind Grupul de uzine „Electroputere" - Craiova, nu se pune problema alegerii unui anumit furnizor cu experiență mai mare sau mai mică. În aceste condiții, exigența față de furnizor trebuie să fie reflectată prin impunerea unei game de încercări ale echipamentului care să permită o judecare asupra fiabilității lui.

În prezent dotarea cu laboratoare de încercare a sectorului de producere a aparatajului de înaltă tensiune este încă la început, iar a sectorului beneficiar, respectiv Ministerul Energiei Electrice, este practic inexistentă.

Această situație ridică o serie de dificultăți în privința asigurării unor aparate fiabile și a alegerii în consecință a schemelor.

Pe baza experienței de exploatare de pînă acum, se poate arăta că de multe ori proiectarea unor stații sau centrale, care a luat în considerare o anumită fiabilitate a echipamentului, a condus la pagube însemnate, ca urmare a defectării mult mai frecvente a echipamentului (de exemplu, stații prevăzute cu transformatoare VEM de 110/6 kV, 20 MVA, care au avut un număr foarte mare de defecte, depășind cu mult media defectelor la transformatoare, sau centrale echipate cu generatoare de 220 MW TVV-2, a căror fiabilitate nu este satisfăcătoare).

Bineînțeles, impunerea unor încercări suplimentare față de cele care se efectuează în prezent duce la creșterea duratei încercărilor și a costului acestora.

Sînt posibile anumite critici la adresa creșterii duratei și a costului încercărilor echipamentului, dar aprecierea trebuie făcută în lumina criteriului fiabilității. Dacă se consideră că un întreruptor trebuie să funcționeze 20—30 de ani, durata încercării unui pol este de 3—6 luni, iar în această perioadă se fabrică circa 60 de întreruptoare trifazate, rezultă că durata unei încercări față de durata de viață globală a aparatelor construite este de 1/10 000.

Încercările echipamentului trebuie să se bazeze pe experiența de exploatare a acestuia, ținînd seama de solicitările reale în instalații, legate atît de solicitările electrice cît și de cele mecanice și de influența mediului înconjurător.

Analiza avariilor la întreruptoare de înaltă tensiune, de 72,5—420 kV, din rețeaua EdF pe o durată de 8 ani, a evidențiat foarte puține avarii electrice, în timp ce avariile de natură mecanică au atins 80% din totalul avariilor întreruptoarelor în funcțiune. Cazurile de avarii, așa cum sînt definite în [3], [6] și [7], se pot grupa în două categorii:

a) cazuri în care, datorită descoperirii elementului defect în timpul controalelor sistematice, întreruptorul se repară prin scoaterea planificată în revizie, cu înlocuirea piesei uzate, sau chiar în funcționare, dacă este vorba de piese care nu influențează direct funcționarea;

b) defecțiuni care necesită pentru remediere întreruperi ale altor elemente sau pot conduce la extinderea avariei.

După unii autori [3] numărul avariilor echipamentului după ce iese din perioada numită „boala copilăriei" scade simțitor.

Această părere a fost infirmată de statistica EdF [6], care arată că, chiar după 10 ani, numărul de avarii legate de îmbătrînirea echipamentului se menține la cel din prima perioadă (a copilăriei).

Aceasta a condus la adîncirea cauzelor avariilor echipamentului. În urma analizei se constată că avariile cele mai frecvente se datorează fie condițiilor de mediu înconjurător, fie concepției însăși a construcției. Astfel, s-au înregistrat următoarele neajunsuri:

— rezistență slabă la solicitări mecanice (rupturi de biele, clapete, buloane, axe, tuburi, arcuri etc.);

— rezistență slabă la solicitări termice (îmbinări de porțelan, ecrane, racorduri);

— rezistență slabă la umiditate (scăderea rigidității dielectrice, alterarea uleiului din circuitele de comandă, condensări pe izolația solidă);

— protecție insuficientă împotriva pătrunderii apei în aparat;

— slabă etanșare, conducînd la pierderi de aer sau ulei;

— concepție necorespunzătoare de asamblare (slăbirea armării elementelor din porțelan, gripare de piese, ruperea izolatoarelor-suport, insuficienta fixare mecanică între diverse piese, lipsa unor dispozitive de frînare);

— rezistență slabă la coroziune.

Aceste cauze au dus la definirea unor încercări care să permită evaluarea calității din acest punct de vedere.

Prescripțiile actuale în vigoare (STAS 6669—69) definesc încercările electrice pe care trebuie să le suporte aparatul nou și curat, dar aceasta nu permite să se tragă concluzii asupra modului de funcționare în condiții reale. Singura probă mecanică prevăzută în prezent se referă la 1 000 de închideri și deschideri ale întreruptorului sau ale separatorului fără tensiune. De altfel, prescripțiile specifică limitele de temperatură și altitudinea pentru care au fost concepute să funcționeze, dar nu arată cum va suporta aparatul variațiile de temperatură sau climă.

Considerăm că, în cadrul unor prescripții care trebuie să se elaboreze pentru completarea volumului de încercări impus în prezent prin

standardele în vigoare, este necesar să se prevadă acelea care permit :

— verificarea bunei funcţionări a aparatului cînd acesta se află o anumită perioadă de timp la temperaturile-limită garantate (în prezent încercările se efectuează la temperatura mediului ambiant din laborator, cu recalculare la condiţii normale de presiune şi temperatură) ;

— comportarea echipamentului la variaţii bruşte de temperatură (pentru izolatoare este prevăzută şi în prezent o astfel de încercare) ;

— încercări privind etanşeitatea aparatului (în sistem au avut loc mai multe avarii legate de pătrunderea umezelii în descărcătoare cu rezistenţa variabilă şi în întreruptoare cu ulei puţin) ;

— încercări pentru determinarea coroziunii la umiditate în condiţii de variaţie a temperaturii, similar încercărilor care se aplică la echipamentul de joasă tensiune.

Aşa cum am arătat, în prezent încercările mecanice sînt insuficiente faţă de numărul de avarii datorate defectelor mecanice.

La echipamentul cu părţi în mişcare, cum sînt întreruptoarele şi separatoarele, unii constructori efectuează şi în prezent un număr de manevre, mergînd de la 5 000 la 50 000, cu presiuni de acţionare mai mari decît cele nominale şi temperaturi mai mari (respectiv mai mici) decît limitele garantate.

Pentru a se putea face aprecieri juste asupra legăturii dintre încercările parţiale şi fiabilitatea aparatelor, încercările trebuie să se efectueze pe aparate a căror comportare este cunoscută din exploatare.

În Franţa au fost efectuate încercări la solicitări mecanice de durată pe trei întreruptoare complete şi patru dispozitive de acţionare oleopneumatice [6].

Numărul de cicluri de manevră a variat între 10 000 şi 20 000. După 2 500—6 000 de manevre au apărut defecte la racordurile tuburilor de înaltă presiune şi la tijele electroventilelor. La 10 000—20 000 de manevre au apărut alte elemente ca, de exemplu, ruperea elementului braţului indicator de poziţie.

Comparaţia cu experienţa de exploatare a arătat o bună concordanţă cu defectele înregistrate la astfel de aparate. După ciclul de încercări s-a demontat fiecare întreruptor piesă cu piesă şi s-a constatat că piesele care nu s-au deteriorat la încercări nu prezintă elemente de uzură care să pericliteze funcţionarea. Pe baza acestei încercări s-a propus adoptarea încercării la solicitări mecanice cu ciclu de 10 000 de manevre, deoarece la acest număr apare majoritatea defectelor datorate unor piese necorespunzător concepute, fabricate sau montate, fără a se uza apreciabil elementele realizate corect.

Tot în Franţa s-a propus încercarea la temperatură umedă pentru echipament de înaltă tensiune sub forma unor cicluri de variaţie trapezoidală a temperaturii de la +35 la +45°C cu o durată de 50 s, avînd baza mică de 15 s şi baza mare de 45 s, în mediu cu umiditate relativă de 95 ± 3 %.

Se propune ca durata încercării să fie de 15 zile (pentru aparatele de joasă tensiune care au inerţia mai mică se aplică în prezent cicluri de 7—15 s triunghiulare cu variaţia temperaturii între 53 şi 57°C). Proba permite evidenţierea pieselor rău protejate împotiva coroziunii (ruginii) şi indică comportarea elementelor întreruptorului la variaţiile de temperatură inerente în exploatare.

Încercarea la variaţii bruşte s-a efectuat prin încălzirea pieselor izolante la 57°C şi prin stropirea de două ori cu apă de 7°C. Întrucît izolatoarele au fost bine armate, nu s-a constatat nici o deteriorare.

Deşi conduc la o îmbătrînire a întreruptorului, cele trei încercări nu supun aparatul decît la solicitări identice celor din exploatare.

Încercarea la pătrunderea apei se poate efectua cu ploaie artificială de 5 mm/min, timp de 5 min, după care se efectuează imediat proba de funcţionare la —25°C, pentru a evidenţia o eventuală pătrundere a apei.

Încercarea de funcţionare la temperaturi-limită trebuie să se efectueze ţinînd întreruptorul timp de cinci zile la —25°C, respectiv la +40°C. După primele două zile se începe efectuarea a 1 000 de manevre cu întreruptorul. Încercarea permite decelarea elementelor care au o comportare nesatisfăcătoare la aceste solicitări.

Alegerea metodei de încercare s-a făcut pornind de la dorinţa de a obţine cu mijloace relativ restrînse efecte cît mai semnificative. Din această cauză se propune aplicarea într-o anumită succesiune combinată a încercărilor descrise, la un singur aparat. În alegerea succesiunii încercărilor se are în vedere ca :

— încercările să corespundă pe cît posibil celor pe care echipamentul electric le suportă în exploatare şi influenţei pe care o au asupra pregătirii încercării următoare ;

— să ducă la cît mai puţine demontări şi remontări ;

— să permită descoperirea rapidă a erorilor mari ;

— să ţină seama de manevrele necesare, pentru a reduce pe cît posibil durata încercărilor.

Ţinînd seama de aceste considerente, în Franţa s-a propus următoarea secvenţă a încercării [6], [7] :

— măsurarea caracteristicilor de funcţionare la temperatură ambiantă, constînd din : presiune, viteză de funcţionare, continuitate electrică ;

—încercarea parţială la rezistenţa mecanică în timp, constînd din 1 000 de cicluri de manevre la temperatura mediului ambiant;

— măsurarea caracteristicilor de funcţionare la încălzire la pătrunderea apei şi la temperatura scăzută, — 25°C, 1 000 de cicluri de manevre;

— măsurarea caracteristicilor de funcţionare la temperatura de +40°C, 1 000 de cicluri de manevre;

— măsurarea caracteristicilor de funcţionare la încercarea la căldură umedă şi la variaţii bruşte de temperatură;

— încercările dielectrice ale întreruptorului;

— încercările de rupere a curentului de defect;

— continuarea încercării la rezistenţă mecanică, pînă la 10 000 de cicluri.

După acest ciclu întreruptorul se demontează şi se examinează piesă cu piesă.

Etalonarea programului de încercări s-a făcut pe întreruptoare de tipuri diferite, cu comportare cunoscută în exploatare.

Dificultăţile întîmpinate se pot rezuma la următoarele:

— este foarte greu de găsit un întreruptor nou de tipul celor care sînt instalate în staţii de peste zece ani;

— compararea defectelor descoperite cu cele înregistrate în exploatare este foarte dificilă, datorită evidenţei statistice şi interpretării ei.

Din această cauză s-a procedat simplu, la interpretarea directă a rezultatelor încercărilor.

S-a constatat că toate defectele evidenţiate prin încercări au fost întîlnite şi în exploatare. Unele avarii caracteristice diverselor tipuri de întreruptoare au fost clar evidenţiate de încercări (pierderi de aer şi de ulei, slăbirea fixării porţelanului camerelor de stingere, rupere de arcuri etc.).

Examinarea rezultatelor a condus la concluzia, ţinînd seama de toate avariile care nu s-au produs în timpul încercărilor (faţă de cele înregistrate în exploatare), că prin ciclul de încercări propus se pot evidenţia circa 50% din avariile care nu sînt descoperite prin încercările clasice.

Utilizarea programului de încercări propus în scopul creşterii fiabilităţii echipamentului se poate face în modul următor:

Încercările evidenţiază patru categorii de avarii posibile:

a) defecte datorate unui control necorespunzător în uzină sau la montaj;

b) defectarea unei piese declarate de uzură înaintea duratei stabilite pentru înlocuire;

c) defectarea unei piese care corespunde calităţii prevăzute, dar are defecte de concepţie;

d) caracteristici de funcţionare cu depăşirea toleranţelor prevăzute de constructorul aparatului.

Introducerea unui ciclu asemănător de încercări pentru aparatajul fabricat în ţară ar permite realizarea unei colaborări rodnice între furnizor şi beneficiar, în sensul unei decizii în funcţie de natura defectelor care se evidenţiază în cursul încercărilor.

Condiţiile care se pot stabili în urma unor încercări de fiabilitate de acest fel se pot rezuma la următoarele:

1) acordarea unor garanţii suplimentare cu privire la fabricarea unor piese sau recepţia pieselor componente;

2) declararea ca piesă de uzură a unor piese care iniţial nu erau considerate ca atare;

3) scurtarea ciclului prevăzut de înlocuire a unor piese declarate de uzură, dacă frecvenţa înlocuirii este admisibilă din punctul de vedere al exploatării;

4) modificarea unor piese care nu dau satisfacţie, cu eventuala încercare separată a acestora;

5) respingerea aparatului ca necorespunzător în exploatare.

Aplicarea încercărilor la elaborarea unei noi tehnologii, completată cu un control sever al calităţii produselor pe faze de fabricaţie, chiar dacă nu elimină complet avariile, va putea conduce la creşterea calităţii în serviciu şi la reducerea sensibilă a operaţiilor de întreţinere şi reparaţii.

Din analiza comportării aparatelor de comutaţie în exploatare se poate afirma că comportarea acestora în exploatare depinde de:

— performanţele electrice la solicitările maxime la tensiune sau curent în reţea. (Aceste performanţe sînt determinate prin încercările de tip, prin verificarea puterii de rupere şi prin încercările dielectrice);

— comportarea în mediul în care trebuie să funcţioneze aparatele (mediul poate influenţa atît fiabilitatea mecanică cît şi pe cea electrică).

Cercetările întreprinse asupra dezvoltării tehnologice mondiale au arătat că în domeniul fiabilităţii tehnologia mecanică nu a ţinut pasul cu alte domenii şi în special cu cel electronic.

Divizia de securitate a Atomic Energy Authority a exprimat pe baze statistice fiabilitatea diverselor elemente constitutive ale unor ansamble, în număr mediu de defectări la un milion de ore de funcţionare. Aceste date sînt prezentate în tabelul 1 [8].

Cifrele sînt interesante în special comparativ şi atestă faptul că elementele mecanice sînt mai puţin fiabile decît cele electronice.

O metodologie aplicată în sectorul electronic pentru elementele reţelei electrice conduce la cel puţin două avantaje:

— exprimă fiabilitatea printr-un număr;

*Tabelul 1*

| Elementul | Nivelul de defectare |
|---|---|
| Conexiuni în materiale electronice : | |
| — răsucite | $10^{-5}$ la $10^{-3}$ |
| — sudate automat | $10^{-4}$ la $10^{-2}$ |
| — sudate manual | $10^{-2}$ la $10^{-1}$ |
| Semiconductoare | $10^{-2}$ la $10^{0}$ |
| Componente electronice discrete | $10^{-3}$ la $10^{6}$ |
| Piese mecanice | $10^{-2}$ la $10^{1}$ |
| Piese electromecanice (relee etc.) | $10^{-1}$ la $10^{1}$ |
| Piese pneumatice și hidraulice | $10^{-1}$ la $10^{1}$ |

— compară în stadiu de proiect mai multe soluţii, estimîndu-le fiabilitatea. Calculul fiabilităţii previzibile are avantajul de a pune în evidenţă punctele slabe ale fiecărei soluţii.

Pentru echipamentul de înaltă tensiune şi în special pentru acela al întreruptoarelor, neputîndu-se obţine date statistice pe un număr suficient de mare, interpretarea rămîne calitativă. În aceste condiţii, în vederea stabilirii încercărilor, trebuie totuşi analizate unele elemente statistice, pentru a putea trasa cadrul general al măsurilor care pot ameliora calitatea echipamentului electric de înaltă tensiune.

Din punctul de vedere al definiţiei fiabilităţii interesează relaţia probabilitate de succes — timp, adică variaţia fiabilităţii în timp, care se traduce prin aşa-zisa curbă de supravieţuire.

Pentru a descrie legea supravieţuirii, se pot utiliza diverse modele matematice. Dintre acestea, pentru fiabilitatea elementelor mecanice apare interesant modelul lui Weibull, care pleacă de la ipoteza că fluxul defecţiunilor este proporţional cu o putere a timpului. Pentru puterea zero se regăseşte legea exponenţială cunoscută.

Unul dintre parametrii importanţi ai unei distribuţii de durată de viaţă este dispersia. În energetică, dispersia este de obicei mai mare decît cea cuprinsă între 10 şi 90%.

Putem caracteriza un sistem prin trei etape. La timpul 0, sistemul este nou. La timpul $t_k$, după ce a trecut un timp de funcţionare, şi $t_i$, cînd sistemul se defectează. Timpii diferiţi $t_k$ înregistraţi în funcţionare depind de :

1. Diferenţe inevitabile între elemente de acelaşi fel. De exemplu :

— caracteristicile subansamblelor ;

— solicitările la care este supus echipamentul electric ;

— factorii interni ai materialului.

2. Diferenţa în condiţiile de exploatare (inclusiv influenţa mediului înconjurător).

În practică există multe legi empirice stabilite pentru durata de viaţă. În energetică este cunoscută, de exemplu, legea de îmbătrînire a izolaţiei transformatoarelor sub forma legii celor 8 sau 6° C, aşa cum în electronică se foloseşte legea celor 10°C, care stabileşte scurtarea la jumătate a duratei de viaţă pentru fiecare 10°C creştere de temperatură.

Pentru coroziune se foloseşte legea lui Arrhenius.

Pentru solicitări mecanice Weibull a propus formula :

$$\frac{t_1}{t_2} = \left(\frac{C_2}{C_1}\right)^m.$$

Formula se verifică pentru lagăre cu bile la $m = 3-4$, pentru metale solicitate la obosire prin cicluri aplicate la $m = 4-16$, la străpungerea izolaţiei solide pentru $m = 8-10$, izolaţie lichidă 20—25 etc. Pentru creşteri de tensiune cu 10 %, durata de viaţă a unui aparat, de exemplu a unui întreruptor, scade la jumătate. Valoarea dispersiei pentru întreruptoare este în jur de 5, variind între 3 şi 10.

Influenţa mediului asupra întreruptoarelor intervine sub forma reducerii duratei de viaţă şi prin creşterea dispersiei. Acest lucru conduce la necesitatea efectuării încercărilor.

Pentru constructorul de aparate, încercările reprezintă doar o fază a problemei. El are sarcina de a crea un model de fiabilitate dorită şi de a produce aparatele conform modelului.

Pentru realizarea acestui scop trebuie să se ţină seama de următoarele faze :

— concepţia ;

— definirea produsului şi a elementelor sale constitutive ;

— controlul producţiei pe faze şi în final ;

— întreţinerea în exploatare.

Dependenţa dintre cost şi fiabilitate urmează o lege exponenţială.

În acest cost apare ca pondere creşterea calităţii şi a numărului personalului care concură la realizarea produsului, sub aspectul formării, al muncii metodologice şi de concepţie, al metodologiei de fabricaţie şi control, precum şi sub aspectul întreţinerii după punerea în funcţiune.

Creşterea preţului aparatului este mai accentuată de la un anumit prag de fiabilitate. Se pare că în prezent aparatajul electric, şi în special întreruptoarele, au atins acest prag şi o creştere a fiabilităţii se poate obţine numai cu costuri foarte mari.

Rolul constructorului în asigurarea unei fiabilităţi dorite se asigură, în final, la o concepţie corespunzătoare, printr-un autocontrol sever al montorului, urmat de controlul independent, prin sondaj, efectuat de unităţile de CTC (control tehnic de calitate).

În cele de mai sus s-a încercat să se atragă atenţia asupra unor măsuri care se impun în sectorul fabricaţiei echipamentului de înaltă tensiune în ţara noastră, pentru asigurarea unei fiabilităţi corespunzătoare a sistemului energetic.

Pentru realizarea acestor măsuri sînt necesare asigurarea bazei materiale şi o strînsă colaborare între constructorul de echipament

și personalul de exploatare al acestuia, începînd cu elaborarea unor caiete de sarcini realiste, ținînd seama de toate dificultățile constatate în exploatarea echipamentului similar și de experiența acumulată de constructor.

**Bibliografie**


[1] * * * *Decretul 304 din 15 septembrie 1971.*

[2] * * * *Cu privire la hotărîrea C.E. al C.C. al P.C.R. privind siguranța funcționării sistemului energetic național.* În : Scînteia, 20 noiembrie, 1971.

[3] Pouard, M. *Fiabilité d'appareillage haute tension.* În : R.G.E., Tome 80, nr. 4, 1971, p. 273—274.

[4] * * * *Statistica de incidente M.E.E.* (material intern I.S.P.E.).

[5] * * * CIGRE, 1970.

[6] Michaca, R. și Bourrenilh-Parege, C. *Essais pour l'amelioration de la fiabilité des disjoncteurs haute tension.* În : R.G.E., Tome 80, nr. 4, 1971, p. 276—280.

[7] Teste, I. *Fiabilité mecanique d'appareillage haute tension.* În : R.G.E., Tome 80, nr. 4, 1971, p. 281—285.

[8] Thuries, E. *Le constructeur en face de la fiabilité.* În : R.G.E., Tome 80, nr. 4, 1971, p. 286—290.

[9] * * * *STAS 6669—69. Încercarea echipamentului electric la înaltă tensiune.*

[10] Nitu, V., Albert, H. și Brădescu, M. *Metode statistice probabilistice utilizate în energetică.* Editura tehnică, București, 1968.

[11] Nitu, V. ș.a. *Contribuții la stabilirea unei metodologii de calcul în alegerea schemelor electrice optime pentru centrale electrice.* În : Energetica, nr. 4, 1971, p. 159—168.


(Articol intrat în redacție la 9 decembrie 1971)

# Influența mărimii puterii unitare a blocurilor termoenergetice asupra siguranței sistemelor electroenergetice

Ing. L. Lup*)

## Aspecte ale construcției și exploatării blocurilor de mare putere

În cadrul sistemelor electroenergetice, construcția și exploatarea de blocuri termoenergetice de putere unitară mare prezintă o serie de avantaje în comparație cu construcția și exploatarea grupurilor termoenergetice de mică putere, ceea ce justifică creșterea utilizării acestor blocuri în energetica națională și mondială.

Se apreciază că avantajele economice obținute în cazul blocurilor de mare putere, materializate prin scăderea investiției specifice (lei/kW instalat), a consumului specific de combustibil (kg c.c./kWh) și a prețului de cost al energiei electrice produse (lei/kWh produs), compensează aspectele nefavorabile cauzate de utilizarea acestor blocuri de mare putere.

Investiția specifică scade cu creșterea mărimii blocurilor, datorită faptului că investiția totală nu crește direct proporțional cu puterea unitară. Acest lucru se poate reda prin relația de mai jos, valabilă pentru blocuri termoenergetice de putere unitară apropiată, cu același fel de combustibil și cu aceleași condiții de funcționare :

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{2/3}, \qquad (1)$$

în care

$I_1$ și $I_2$ reprezintă investiția totală pentru cele două blocuri termoenergetice de mărimi diferite ;

$P_1$ și $P_2$ — puterile nominale ale celor două blocuri termoenergetice.

Consumul specific scade și el cu circa 1—3% la un bloc de 600 MW, față de consumul specific al unui bloc de 300 MW, iar la un bloc de 300 MW, față de un bloc de 200 MW, scăderea consumului specific de combustibil este de circa 1—5%.

Construirea și exploatarea blocurilor de mare putere, în comparație cu construirea și exploatarea agregatelor de mică putere, ridică și o altă serie de probleme care pot duce la frînarea extinderii mărimii unitare a blocurilor, ca :

— tehnica și posibilitățile de execuție ;

— durata de montaj ;

— stabilitatea statică și dinamică ; alegerea puterii unitare maxime poate fi limitată și de mărimea sistemului electroenergetic în care urmează să funcționeze blocurile (din acest punct de vedere, s-au făcut recomandări ca puterea unitară a blocului să nu depășească 4—7% din sarcina maximă a sistemului electroenergetic) ;

— organizarea protecției prin relee și automatizarea în cadrul centralei și al sistemului electroenergetic ;

— funcționarea serviciilor interne și a instalațiilor conexe ;

— durata mare a reparațiilor planificate ;

— durata mare a reparațiilor impuse de incidentele de exploatare.

Una dintre multiplele probleme, rezultată din cele expuse mai sus, care ar putea reduce efectele economice date de scăderea investiției specifice și a consumului specific de combustibil la utilizarea blocurilor de mare putere, o reprezintă influența mărimii puterii unitare și a mărimii probabilităților de stare ale acestor blocuri asupra siguranței sistemelor electroenergetice. Această problemă va fi tratată mai pe larg în cele ce urmează.

*) Liviu Lup este inginer proiectant principal la I.S.P.E.

**Probabilităţi de stare**

Un bloc termoenergetic format dintr-un grup turbogenerator - transformator şi anexele acestora, cu o putere unitară $P$, o probabilitate de stare de funcţionare $p_t$, o probabilitate de stare în avarie $q_t$, şi dintr-un cazan de abur cu o probabilitate de stare de funcţionare $p_c$ şi o probabilitate de stare de avarie $q_c$, va avea [1] o stare de funcţionare corespunzătoare probabilităţii $p_b$ şi o stare de avarie corespunzătoare probabilităţii $q_b$. Probabilităţile acestor două stări sînt date de relaţiile

$$p_b + q_b = p_t p_c + p_t q_c + p_c q_t + q_t q_c = 1, \quad (2)$$

în care

$$p_b = p_t p_c \quad (3)$$

$$q_b = p_t q_c + p_c q_t + q_t q_c = 1 - p_t p_c \quad (4)$$

În general, elementele componente ale blocurilor de mare putere unitară se construiesc cu capacităţi corespondente. Totuşi, în unele cazuri, din motive constructive, relaţii cu furnizorii de utilaje etc., se construiesc şi blocuri cu un singur grup turbogenerator şi cu două cazane, ale căror debite totale instalate corespund puterii instalate a turbogeneratorului. În mod similar există şi centrale termoelectrice în care un singur cazan de abur acoperă simultan necesităţile de abur a două grupuri turbogeneratoare. Un bloc termoenergetic format dintr-o turbină cu o putere nominală $P$, cu probabilităţile de stare $p_t$ şi $q_t$, şi din două cazane de abur avînd fiecare debitul nominal corespunzător puterii $P' = P/2$, cu probabilităţile de stare $p_c$ şi respectiv $q_c$, va avea următoarele trei stări [2];

1) cu puterea avariată $P_a = 0$ (starea de funcţionare la puterea nominală) corespunzătoare probabilităţii de funcţionare :

$$p_b = p_t p_c^2. \quad (5)$$

2) cu puterea avariată $P_a = P/2$, corespunzătoare probabilităţii :

$$s_b = 2 p_t p_c q_c. \quad (6)$$

3) cu puterea avariată $P_a = P$ (starea de avarie totală) corespunzătoare probabilităţii :

$$q_b = p_t q_c^2 + q_t p_c^2 + 2 q_t q_c p_c + q_t q_c^2$$

sau, dînd factor comun pe $q_t$ şi întrucît $p_c + q_c = 1$, rezultă :

$$q_b = q_t q_c^2 + q_t \quad (7)$$

Pentru un sistem electroenergetic format dintr-un număr de $n$ agregate împărţite în $g$ grupe $(1 \leqslant g \leqslant n)$ cu cîte $n_i$ agregate de aceeaşi putere unitară $(P_i)$ în fiecare grupă, cu probabilităţile de stare $p_i$ şi $q_i$, probabilităţile diferitelor stări ale sistemului se pot reda prin termenii obţinuţi din dezvoltarea relaţiei :

$$(p_1 + q_1)^{n_1}(p_2 + q_2)^{n_2} \ldots (p_i + q_i)^{n_i} \ldots (p_g + q_g)^{n_g} = 1, \quad (8)$$

al cărei termen general este :

$$a_k = \prod_{i=1}^{g} \cdot a_{k_i}^i, \quad (9)$$

în care

$k$ este numărul de agregate din sistem aflate simultan în avarie $(0 \leqslant k \leqslant n)$ ;

$k_i$ — numărul de agregate din grupa $i$ $(1 \leqslant i \leqslant g)$ aflate simultan în avarie $(0 \leqslant k_i \leqslant n_i)$

$$k = \sum_{i=1}^{g} k_i. \quad (10)$$

Probabilitatea de a fi simultan în avarie $k_i$ agregate din grupa $i$ este :

$$a_{k_i}^i = C_{n_i}^{k_i} p_i^{n_i - k_i} q_i^{k_i} \quad (11)$$

**Forme de exprimare a gradului de siguranţă**

Siguranţa într-un sistem electroenergetic poate fi exprimată sub diferite forme [3], [4], [5], [6].

Pentru problema care preocupă, se consideră necesară prezentarea următoarelor forme ale gradului de siguranţă :

*Gradul de siguranţă pentru puterea efectiv utilizabilă a sistemului electroenergetic*

Se notează cu $d_p$ expresia :

$$d_p = \sum \prod_{i=1}^{g} a_{k_i}^i, \quad (12)$$

suma referindu-se la termenii din relaţia (8), în aşa fel încît să se respecte condiţia :

$$k_1 P_1 + k_2 P_2 + \ldots + k_i P_i + \ldots + k_g P_g > P_a', \quad (13)$$

în care

$P_a'$ reprezintă puterea de rezervă pentru avarii, iar

$P_1, P_2, \ldots P_g$ puterile unitare ale grupurilor din cele $g$ grupe.

Valoarea lui $d_p$ din relaţia (12), respectînd condiţia din relaţia (13), redă probabilitatea de deficit de putere în cazul în care puterea necesară a fi produsă, $P_p$, respectă relaţia :

$$P_p = P_{eu\,max} - P_a',$$

în care s-a notat cu $P_{eu\,max}$ puterea efectiv utilizabilă maximă a sistemului.

Gradul de siguranţă pentru valoarea puterii efectiv utilizabile $P_{euk}$ a sistemului este dat de relaţia :

$$s_p = 1 - d_p \quad (14)$$

*Gradul de siguranţă pentru energia electrică necesară a fi produsă*

Această formă a gradului de siguranţă se exprimă prin relaţia:

$$s_E = \frac{E_n - E_d}{E_n} 100\,(\%), \qquad (15)$$

în care

$E_n$ este energia electrică necesară a fi produsă în sistemul electroenergetic;

$E_d$ — energia electrică probabilă neprodusă (din cauza deficitului de putere);

$$E_d = \sum a_k P_{def\,k}\, t_k, \qquad (16)$$

în care

$P_{def\,k}$ este puterea probabilă de deficit;

$a_k$ — probabilitatea de deficit a puterii $P_{def\,k}$;

$t_k$ — timpul probabil de deficit al puterii $P_{def\,k}$.

**Influenţa diferitelor tipuri de blocuri asupra siguranţei stării de funcţionare a sistemelor electroenergetice**

**Exemplu de calcul**

În general, avarierea agregatelor sau reducerea puterii efectiv disponibile a agregatelor ca urmare a incidentelor apărute în timpul exploatării au loc cu o intensitate cu atît mai mare, cu cît agregatele sînt mai complexe. Durata necesară readucerii agregatelor în stare normală de funcţionare este şi ea funcţie de complexitatea agregatelor. În acest sens, o turbină de o anumită putere $P$ poate avea o probabilitate mai mare de stare de avarie decît o turbină de o putere mai mică. Un bloc cu un grup turbogenerator şi două cazane poate avea o siguranţă mai mare de funcţionare în comparaţie cu un bloc de aceeaşi putere unitară, format dintr-un grup turbogenerator şi un singur cazan de abur.

Pentru exemplificarea celor de mai sus se redau în tabelul 1, în funcţie de puterea blocurilor, coeficienţii medii de disponibilitate şi de stare în avarie după realizările din S.U.A. în anii 1960—1968 [7].

*Tabelul 1*

| Puterea unitară, MW | Nr. de blocuri | Coeficient de disponibilitate, % | Coeficient de stare în avarie, % |
|---|---|---|---|
| 60— 89 | 59 | 91,6 | 1,8 |
| 90—129 | 134 | 90,5 | 2,3 |
| 130—199 | 134 | 91,6 | 1,8 |
| 200—389 | 169 | 88,5 | 3,4 |
| 390—599 | 34 | 83,2 | 7,6 |
| peste 600 | 11 | 86 | 6,8 |

În tabelul 2 se prezintă probabilităţile de avarie luate în calcul, pentru agregate cu peste doi ani de exploatare după EdF, pentru modelul 2 CIGRE.

*Tabelul 2*

| Puterea nominală, MW | 62,5 | 125 | 250 | 500 | 1000 |
|---|---|---|---|---|---|
| Probabilitatea de avarie, % | 5 | 5 | 7 | 9 | 11 |

Din valorile prezentate în ambele tabele se constată tendinţa creşterii avariilor cu puterea unitară a agregatelor, deşi, aşa cum arată tabelul 1, sînt şi unele abateri.

*Tabelul 3*

| Nr. crt. | $P_{eu}$, MW | $10^6 \times$ probabilitatea de a dispune de puterea $P_{eu}$ | $10^6 \times$ gradul de siguranţă $s_p$ |
|---|---|---|---|
| 1 | 11 200 | 4 198 | 4 198 |
| 2 | 11 100 | 34 845 | 39 043 |
| 3 | 11 000 | 53 605 | 99 648 |
| 4 | 10 900 | 80 671 | 173 319 |
| 5 | 10 800 | 110 279 | 283 598 |
| 6 | 10 700 | 119 108 | 402 706 |
| 7 | 10 600 | 123 700 | 526 406 |
| 8 | 10 500 | 116 369 | 642 775 |
| 9 | 10 400 | 99 733 | 742 508 |
| 10 | 10 300 | 80 911 | 823 419 |
| 11 | 10 200 | 60 967 | 884 386 |
| 12 | 10 100 | 43 298 | 927 684 |
| 13 | 10 000 | 29 111 | 956 795 |
| 14 | 9 900 | 18 493 | 975 288 |
| 15 | 9 800 | 11 180 | 986 468 |
| 16 | 9 700 | 6 430 | 992 898 |
| 17 | 9 600 | 3 527 | 996 425 |
| 18 | 9 500 | 1 848 | 998 273 |
| 19 | 9 400 | 926 | 999 199 |
| 20 | 9 300 | 444 | 999 643 |
| 21 | 9 200 | 205 | 999 848 |
| 22 | 9 100 | 90 | 999 938 |
| 23 | 9 000 | 38 | 999 976 |
| 24 | 8 900 | 15 | 999 991 |
| 25 | 8 800 | 6 | 999 997 |
| 26 | 8 700 | 2 | 999 999 |

Pentru calculul influenţei mărimii puterii unitare şi a mărimii probabilităţilor de stare ale blocurilor termoenergetice asupra siguranţei sistemelor electroenergetice, a fost ales un sistem electroenergetic format din agregate cu diferite puteri unitare şi cu diferite probabilităţi de avarie. Puterea totală maximă efectiv utilizabilă a sistemului este de 11 200 MW. În tabelul 3 se prezintă probabilitatea de funcţionare $a_k$ a puterii efectiv utilizabile $P_{eu}$ şi gradul de siguranţă $s_p$ pentru acoperirea unei puteri de consum $P_c = P_{eu}$, în funcţie de puterea efectiv utilizabilă a sistemului.

Se presupune că sistemul trebuie dezvoltat cu un număr de blocuri (a căror putere totală este de 1800 MW) de putere unitară şi caracteristici corespunzătoare celor cinci soluţii prezentate în tabelul 4.

Puterea totală maximă efectiv utilizabilă a sistemului dezvoltat este 13 000 MW.

Funcţionarea agregatelor, din cele cinci soluţii de dezvoltare, în cadrul sistemului duce la diferite grade de siguranţă, privind posibilitatea de acoperire a puterii necesare de consum. Aceste grade de siguranţă, în domeniul acceptabil al rezervelor de putere, au valori cu atît mai mici cu cît agregatele au puteri unitare şi probabilităţi de avarie mai mari, ceea ce se poate vedea şi din tabelul 5.

Pentru compararea soluţiilor privind acoperirea energiei electrice necesare s-au făcut calcule pentru toate cele cinci soluţii menţionate şi cinci curbe de consum cu următoarele caracteristici:

1 cu $P_c = P_{c\,max}$ = constant = 13 000 MW;
2 cu $P_{c\,max}$ = 13 000 MW; $P_{c\,min}$ = 8 000 MW;
3 cu $P_{c\,max}$ = 12 000 MW; $P_{c\,min}$ = 7 000 MW;
4 cu $P_{c\,max}$ = 11 500 MW; $P_{c\,min}$ = 6 500 MW;
5 cu $P_c = P_{c\,max}$ = constant = 12 500 MW.

*Tabelul 4*

| Denumirea | Soluţii de dezvoltare I | II | III | IV | V |
|---|---|---|---|---|---|
| Puterea nou instalată, MW | 1800 | 1800 | 1800 | 1800 | 1800 |
| Număr de blocuri | 6 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Puterea nominală a blocurilor, MW | 300 | 600 | 600 | 600 | 600 |
| Număr de cazane în bloc | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| Probabilitatea $p_b$ de funcţionare a blocului la puterea nominală, % | 95 | 95 | 91,1 | 88,32 | 92 |
| Probabilitatea $s_b$ de funcţionare a blocului la 1/2 din puterea nominală, % | — | — | 4,672 | 7,36 | — |
| Probabilitatea $q_b$ de avarie totală a blocului, % | 5 | 5 | 4,228 | 4,32 | 8 |
| Probabilitatea $p_t$ de funcţionare a grupului turbogenerator-transformator, % | 97,44 | 97,44 | 95,8333 | 95,8333 | 95,8333 |
| Probabilitatea $q_t$ de avarie a grupului turbogenerator-transformator, % | 2,56 | 2,56 | 4,1667 | 4,1667 | 4,1667 |
| Probabilitatea $p_c$ de funcţionare a cazanului, % | 97,5 | 97,5 | 97,5 | 96 | 96 |
| Probabilitatea $q_c$ de avarie a cazanului, % | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 4 | 4 |

*Tabelul 5*

| Puterea maximă a sistemului, $P_{e_u\,max}$ MW | | 13 000 | 13 000 | 13 000 | 13 000 |
|---|---|---|---|---|---|
| Necesarul de consum $P_c$, MW | | 12 000 | 11 800 | 11 600 | 11 400 |
| Rezerva pentru avarii, MW | | 1 000 | 1 200 | 1 400 | 1 600 |
| % din $P_c$ | | 8,3 | 10,2 | 12,1 | 14,0 |
| Gradul de siguranţă pentru soluţii, % | I | 0,808060 | 0,910924 | 0,964038 | 0,987272 |
| | II | 0,796642 | 0,891624 | 0,946948 | 0,976052 |
| | III | 0,775387 | 0,879639 | 0,941198 | 0,973656 |
| | IV | 0,753401 | 0,864771 | 0,932575 | 0,969248 |
| | V | 0,746271 | 0,852052 | 0,920618 | 0,960565 |

Alura curbelor clasate de sarcină a fost aproximată ca o dreaptă.

Pentru gradul de siguranţă privind energia electrică necesară a fi produsă s-au obţinut valorile din tabelul 6.

*Tabelul 6*

| Curba de consum | Soluţia I | II | III | IV | V |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 94,27 | 94,27 | 94,06 | 93,85 | 93,85 |
| 2 | 99,35 | 99,35 | 99,29 | 99,24 | 99,21 |
| 3 | 99,975 | 99,961 | 99,957 | 99,951 | 99,941 |
| 4 | 99,9981 | 99,9951 | 99,9947 | 99,9937 | 99,9907 |
| 5 | 99,769 | 99,762 | 99,746 | 99,727 | 99,724 |

Pentru toate tipurile de curbe de consum analizate — în afară de curba 1 — energia asigurată creşte cu probabilitatea de funcţionare şi cu scăderea puterii unitare a elementelor componente ale blocurilor.

Pentru cazul-limită (curba 1) cînd puterea de consum este constantă şi egală cu puterea efectiv utilizabilă maximă, energia asigurată creşte cu probabilitatea de funcţionare a elementelor componente ale blocurilor şi nu depinde de mărimea lor unitară.

**În acest articol a fost prezentat un model de calcul al influenţei mărimii puterii unitare şi a mărimii probabilităţilor de stare ale blocurilor termoenergetice asupra siguranţei sistemelor electroenergetice.**

**Cum, pe de o parte, siguranţa alimentării consumatorilor (pentru aceeaşi putere totală instalată pe sistem) scade cu creşterea puterii unitare a agregatelor, iar, pe de altă parte, cu cît puterea unitară a agregatelor este mai mare investiţiile şi cheltuielile de exploatare sînt mai mici, rezultă că este necesar să se ţină seamă de toate aceste elemente la analiza soluţiilor de dezvoltare a sistemului electroenergetic.**

**Bibliografie**


[1] Sieno, C. F. şi Stine, L. L. *A Probability Method for Determining the Reliability of Electric Power Systems.* În : Power Apparatus and Systems, nr. 2. 1964.

[2] Lup, L. *Coeficienţi de incidentare (avarie) şi rezultatele obţinute în exploatare.* A doua conferinţă a electricienilor, Bucureşti, 23—26 septembrie, 1969.

[3] Calabrese, G. *Calcul de la puissance de réserve dans les complexes électriques par la méthode des probabilités.* În : Bulletin scientifique de l'AIM, nr. 11, 1955.

[4] Nitu, V. I., Goldemberg, C., Mişu, N., Lup, L., Rosinger, E. şi Vlădescu, A. *Stabilirea nivelurilor de putere şi a rezervelor sistemului energetic.* În : Energetica, nr. 1, 1970.

[5] Lup, L. *Calculul puterii de rezervă necesară pentru efectuarea reparaţiilor planificate la dezvoltarea în perspectivă a sistemelor electroenergetice.* În : Producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice şi termice, nr. 5, 1970.

[6] Nitu, V. I., Albert, H. şi Brădescu, M. *Aspecte generale ale teoriei siguranţei sistemelor energetice.* În : Studii şi cercetări de calcul economic şi cibernetică economică, nr. 6, 1967.

[7] Gladîşev. G. P. şi Şur. A. Z. *Nekotorie voprosî nadejnosti raboti blokov na teplovîh elektrostanţiah SŞA (USA).* În : Energohozeaistvo za rubejom, nr. 4, 1970·


(Articol intrat în redacţie la 9 iunie 1970)

# Separarea automată a CET Galaţi faţă de sistemul energetic la apariţia pendulaţiilor în sistem. Descrierea instalaţiei, mod de funcţionare, regimuri

Ing. N. Oprişiu*)

În actuala etapă CET Galaţi dispune de două blocuri generatoare. Energia produsă este injectată în barele de 110 kV ale staţiei de conexiuni. Din această staţie se alimentează Combinatul Siderurgic Galaţi, consumator de mare importanţă, ceea ce impune condiţii speciale barelor de 110 kV în privinţa parametrilor electrici principali (tensiune, frecvenţă) şi a siguranţei în funcţionare. Condiţiile esenţiale sînt :

— Evitarea propagării variaţiilor de tensiune, deoarece se alimentează receptoare sensibile la acest parametru (laminoarele nu suportă variaţii de tensiune).

— Eliminarea pendulaţiilor de putere şi tensiune în timp scurt.

— Menţinerea frecvenţei la valoare nominală.

Caracteristica principală a consumatorilor combinatului este aceea de a provoca şocuri de putere activă şi reactivă. Şocurile de putere activă se repartizează pe sistem şi pe grupurile locale în funcţie de puterile sincronizante şi de energiile cinetice ale maşinilor. Şocurie de putere reactivă provoacă variaţii de tensiune şi se repartizează în funcţie de reactanţele tranzitorii ale sistemului şi ale generatoarelor locale.

La apariţia perturbaţiilor în sistemul energetic (variaţii bruşte de tensiune, frecvenţă, pendulaţie), pentru buna funcţionare a blocurilor generatoare cît şi pentru favorizarea consumatorilor vitali este necesar să se separe blocurile generatoare de sistem, acestea rămînînd cu sarcina consumatorilor fără şoc.

Separarea trebuie să se facă numai la perturbaţii în sistem, pentru a evita extinderi de avarii provocate de incidente în reţeaua staţiilor de racord adînc a consumatorilor. Din acest motiv separarea de sistem a blocurilor generatoare se face doar la circulaţii de putere reactivă de la barele staţiei spre sistem. În figura 1 este reprezentată schema monofilară a staţiei de conexiuni de 110 kV CSG, cu indicarea schemei-bloc a instalaţiei de separare.

## Descrierea instalaţiei de separare automată la apariţia perturbaţiilor în sistem

Instalaţia lucrează la variaţii bruşte de tensiune şi frecvenţă, concomitent cu existenţa unor circulaţii de putere reactivă spre sistem. În aceste condiţii vor fi deconectaţi consumatorii cu şoc, iar apoi, în treapta a II-a de temporizare, se va da comanda de separare

*) Nicolae Oprişiu este inginer principal PRAM la IEC Galaţi.

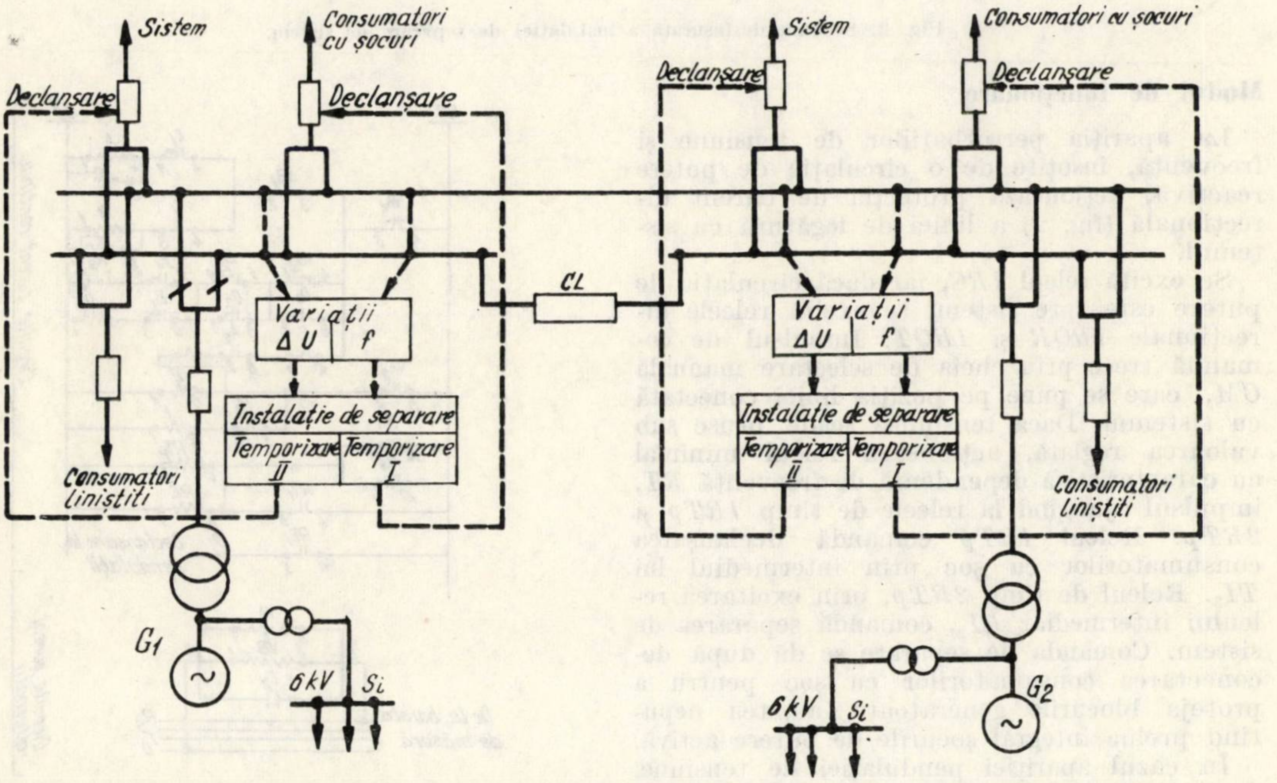



Fig. 1. Schema monofilară a staţiei de 110 kV-SC.CSG cu indicarea schemei-bloc a instalaţiilor de separare.

prin declanşarea întreruptorului liniei de sistem. Instalaţia lucrează în două cazuri:

a) La variaţii bruşte de tensiune şi frecvenţă, reglajele releelor fiind făcute deasupra limitei de stabilitate dinamică a generatorului.

b) La pendulaţiile de tensiune în sistem.

respund cu valorile programate ale dispozitivului de debuclare la pendulaţii $DP$, acesta emite impuls de acţionare a instalaţiei de separare prin intermediul releului $RI_1$. Organele de măsurare ale dispozitivului $DP$ sînt ali-

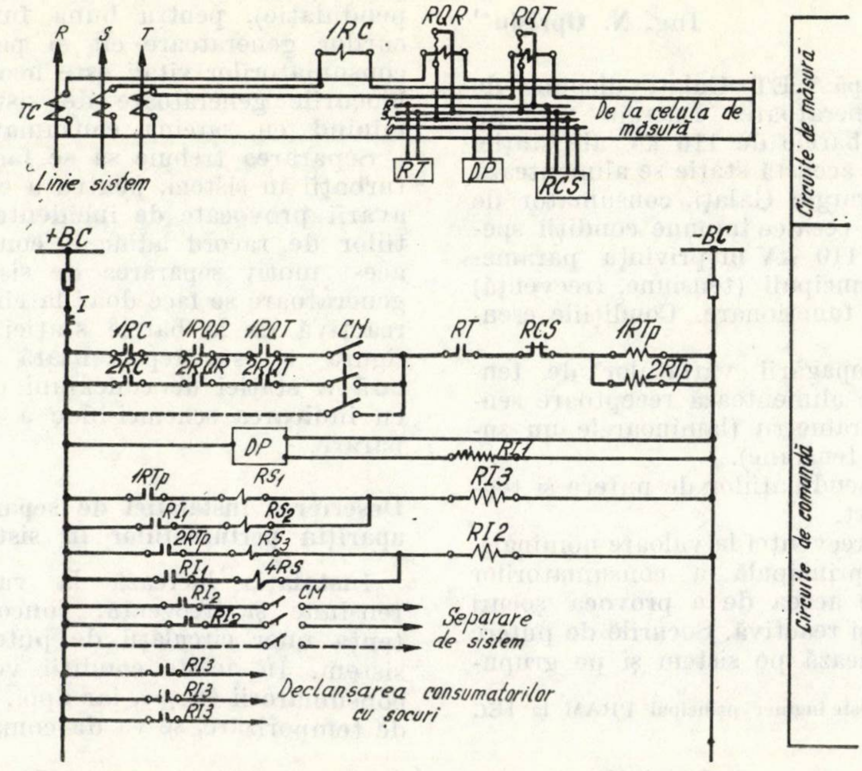



Fig. 2. Schema desfăşurată a instalaţiei de separare de sistem.

## Modul de funcţionare

La apariţia perturbaţiilor de tensiune şi frecvenţă, însoţite de o circulaţie de putere reactivă, acţionează protecţia de curent direcţională (fig. 2) a liniei de legătură cu sistemul.

Se excită releul $1RC$, iar dacă circulaţia de putere este spre sistem, se excită releele direcţionale $1RQR$ şi $1RQT$. Impulsul de comandă trece prin cheia de selectare manuală $CM$, care se pune pe poziţia liniei conectată cu sistemul. Dacă tensiunea scade brusc sub valoarea reglată, acţionează releul minimal cu caracteristică dependentă de frecvenţă $RT$, impulsul ajungînd la releele de timp $1RTp$ şi $2RTp$. Releul $1RTp$ comandă declanşarea consumatorilor cu şoc prin intermediul lui $TI_3$. Releul de timp $2RTp$, prin excitarea releului intermediar $RI_2$, comandă separarea de sistem. Comanda de separare se dă după deconectarea consumatorilor cu şoc pentru a proteja blocurile generatoare, acestea neputînd prelua integral şocurile de putere activă.

În cazul apariţiei pendulaţiei de tensiune, dacă perioada şi amplitudinea pendulaţiei co-

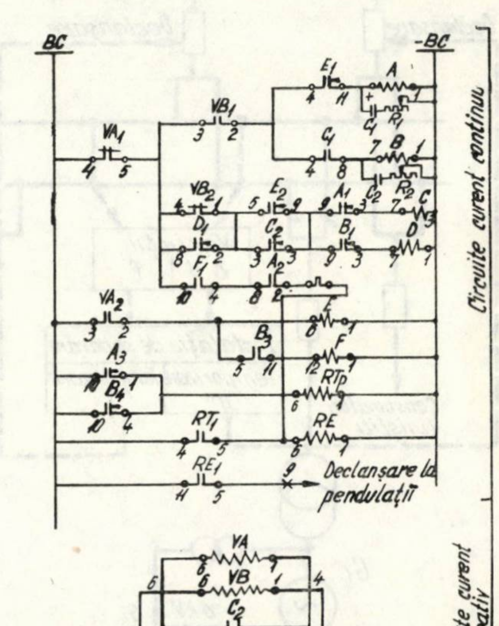



Fig. 3. Dispozitivul de debuclare la pendulaţii DP, tip 42

mentate din circuitele de măsură ale barei la care este legat generatorul.

În cazul apariţiei oscilaţiilor de tensiune de valori mari, periculoase din punctul de vedere al stabilităţii blocului, dispozitivul $DP$ asigură deconectarea blocului generator faţă de reţelele de sistem, înlocuind separările dezordonate date de protecţii.

Selecţia de separare se realizează prin temporizări. Dispozitivul $DP$ (fig. 3) este echipat cu două relee minimale de tensiune, $VA$ şi $VB$, reglate la 0,6 $U_n$ şi 0,8$U_n$. La scăderea tensiunii sub 0,8 $U_n$ se dezexcită releul $VA$, creînd condiţii pentru excitarea releului $A$. Dacă tensiunea scade în continuare sub 0,6 $U_n$, se dezexcită releul $VB$. Se creează condiţii pentru excitarea releelor $C$ şi $D$, care acţionează releul de timp $RTp$, acesta comandînd temporizat declanşarea prin excitarea releului de ieşire $RE$. Condiţia de declanşare temporizată este de a se închide succesiv contactele $A_3$ şi $B_4$. Comanda de declanşare se mai poate da direct, fără temporizare la a doua pendulaţie de tensiune, prin circuitul $VA_1-F_1-A_2$. Releele $A$, $B$, $C$, $D$, $E$, $F$ sînt relee intermediare cu temporizări la închidere şi deschidere reglate cu mare precizie, în aşa fel încît jocurile de contacte asigură memorarea curbei pendulaţiei de tensiune.

### Alte variante constructive de instalaţii de separare

Întrucît mărimile perturbate sînt tensiunea şi frecvenţa, măsurarea perturbaţiei se poate realiza cu relee de tensiune şi relee de frecvenţă reglate pe mai multe trepte de acţionare, realizînd în acest fel condiţiile de separare. În figura 4 este reprezentată schema de principiu a unei protecţii de separare de sistem în două trepte de reglaj al tensiunii şi frecvenţei.

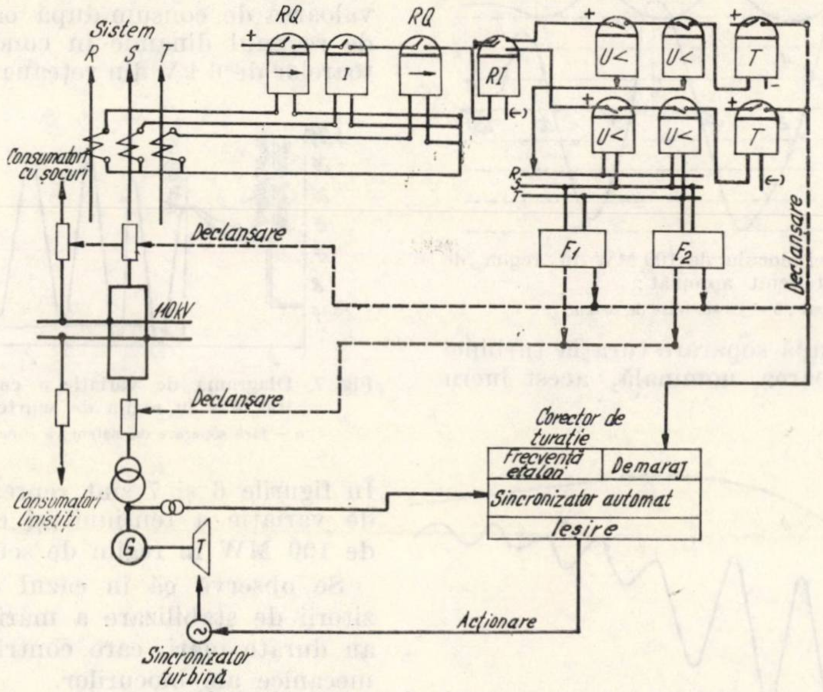



Fig. 4. Instalaţie de separare de sistem cu corector de turaţie.

Valorile de reglaj se stabilesc în funcţie de gradul de stabilitate a generatorului şi în funcţie de cerinţele consumatorilor sensibili la variaţii de tensiune. Iniţial acţionează protecţia de putere reactivă direcţionată, apoi protecţia minimală de tensiune temporizată comandă declanşarea liniei de sistem. Releele de frecvenţă $F_1$ şi $F_2$ supraveghează frecvenţa blocului insulat. Ele comandă direct declanşarea dacă frecvenţa iese din limitele stabilite.

După separare, pentru încadrarea frecvenţei în limitele de eroare admise se poate introduce în schema instalaţiei un corector de turaţie care intră în funcţiune odată cu intrarea generatorului în regim insular.

### Regimul blocului generator după separare

Ca urmare a unor regimuri dinamice, după separarea de sistem blocurile generatoare au tendinţa de accelerare a turaţiei (scade sarcina). Un rol important în acest caz îl are regulatorul automat de viteză (RAV) pentru menţinerea în limite admisibile a frecvenţei. În figura 5 este redată diagrama de variaţie a turaţiei în regim de scurtcircuit a blocului de 100 MW în două variante de funcţionare.

Se observă că în regimul fără separare de sistem procesul tranzitoriu de stabilizare a turaţiei conţine oscilaţii cu amplitudini mult

mai mari; în consecinţă şi solicitările mecanice la arborele turbinei sînt periculoase, variaţiile de turaţie avînd loc în timp scurt.

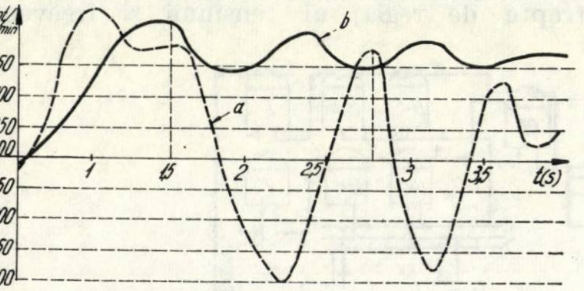



Fig. 5. Variaţia turaţiei blocului de 100 MW în regim de scurtcircuit apropiat:

*a* – fără separare; *b* – cu separare de sistem.

Se observă că după separare turaţia turbinei nu revine la valoarea nominală, acest lucru

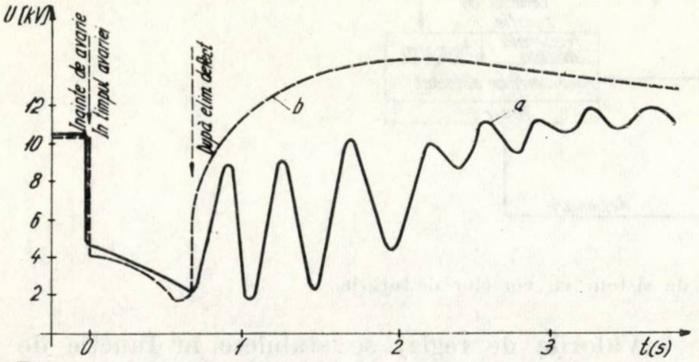



Fig. 6. Diagrama de variaţie a tensiunii pe blocul de 100 MW în regim de scurtcircuit apropiat:

*a* – fără separare de sistem; *b* – cu separare de sistem.

datorîndu-se sensibilităţii relativ scăzute a RAV, sensibilitate influenţată de calitatea uleiului din sistemul de reglaj. Din acest motiv soluţia cu corector de turaţie la funcţionare insulară este oportună.

Un rol important în îmbunătăţirea stabilităţii blocului după separare îl are şi regulatorul automat de tensiune. El readuce tensiunea la valoarea de consum după oscilaţiile provocate de regimul dinamic în condiţiile lansării motoarelor de 6 kV din reţeaua serviciilor interne.

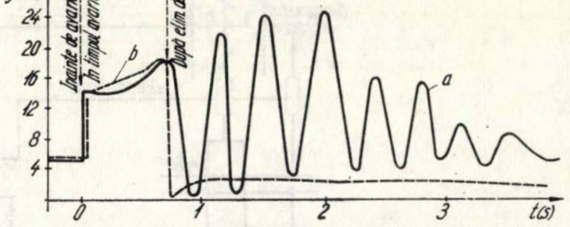



Fig. 7. Diagrama de variaţie a curenţilor pe blocul de 100 MW în regim de scurtcircuit apropiat:

*a* – fără separare de sistem; *b* – cu separare de sistem.

În figurile 6 şi 7 sînt reprezentate diagramele de variaţie a tensiunii şi curentului blocului de 100 MW în regim de scurtcircuit apropiat.

Se observă că în cazul *a* regimurile tranzitorii de stabilizare a mărimilor după avarie au durate mari, care contribuie la solicitările mecanice ale blocurilor.

Un rol important în înrăutăţirea stabilităţii generatoarelor după separare îl joacă perturbaţiile apărute în reţeaua serviciilor interne, datorită curentului de autopornire a motoarelor de 6 kV (pompe de alimentare, ventilatoare), curent care poate ajunge la valori de 3–4 ori mai mari decît cea nominală.

**(Articol intrat în redacţie la 22 iunie 1971)**

# Aspecte legate de utilizarea metodei eliminărilor multiple şi a metodei eliminărilor ordonate în calculul echivalenţilor REI

**Ing. C. Bogdan şi matem. M. Staadecker*)**

La Centrul de calcul al ISPE a fost întocmită o serie de programe pentru determinarea echivalenţilor REI şi a imaginilor nodale (concepte fundamentale ale analizei nodale) [1] ţinînd cont de frecvenţa lor mare de utilizare în studiile privind sistemul electroenergetic actual şi în perspectivă (calculul curenţilor de scurtcircuit, calcule de stabilitate statică şi dinamică, studii privind structura sistemului energetic).

În afara programelor realizate pentru calculatoarele din prima generaţie (CIFA 3, 4, 102), care nu mai sînt utilizate de cîţiva ani datorită dimensiunilor mici ale reţelelor ce pot fi abordate şi vitezei de calcul reduse, în ISPE s-au realizat următoarele programe:

– programul REI (1) pe calculatorul Elliott 4120, scris în limbajul de asamblare al calculatorului (NEAT) [6];

– programul REI** (2), de asemenea pe calculatorul Elliott 4120, scris în limbajul de asamblare al calculatorului (NEAT) [6];

– programul REI (3), pe calculatorul IRIS-50, scris în limbaj FORTRAN [7].

*) Cristina Bogdan este inginer proiectant la I.S.P.E. Mihai Staadecker este matematician analist la acelaşi institut.

Aceste calculatoare au următoarele caracteristici principale :

a) calculatorul Elliott 4120 :

— lungimea cuvîntului : 3 octeţi ;

— memoria : 32K cuvinte (96K octeţi) ;

— timpul de acces la memorie : 6 μs ;

— un număr real ocupă 2 cuvinte (6 octeţi) ;

— numărul mediu de operaţii în numere întregi : 30 000/s ;

— numărul mediu de operaţii în numere reale : 2 000/s ;

b) calculatorul IRIS-50, configuraţia ISPE :

— lungimea cuvîntului : 4 octeţi ;

— memoria : 128K octeţi (32K cuvinte) ;

— timpul de acces la memorie : 2μs ;

— un număr real ocupă 1 cuvînt (4 octeţi) ;

— numărul mediu de operaţii în numere întregi : 80 000/s ;

— numărul mediu de operaţii în numere reale : 50 000/s.

La ora actuală calculatorul cifric IRIS-50 este cel mai rapid calculator din ţară.

O deosebire dintre aceste trei programe constă în metoda folosită pentru obţinerea matricei reduse, care reprezintă echivalentul REI, din matricea nodală de admitanţe [Y].

Scopul articolului de faţă este discutarea procedeelor utilizate pentru eliminarea unor linii în matricea [Y], care au la bază metoda de eliminare Gauss.

## Metoda generală de calcul al echivalenţilor REI

Considerînd un sistem electroenergetic cu $N_a$ noduri, dintre care $N_G$ noduri generatoare şi $N_C$ noduri consumatoare, ecuaţia matricială care descrie sistemul este

$$[I] = [Y]\,[E], \tag{1}$$

în care

[$I$] este vectorul curenţilor injectaţi în noduri;

[$Y$] — matricea nodală de admitanţe ;

[$E$] — vectorul tensiunilor nodurilor reţelei.

Ecuaţia (1) poate fi pusă şi sub forma

$$\begin{bmatrix} I_C \\ I_G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{CC} & Y_{CG} \\ Y_{GC} & Y_{GG} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_C \\ E_G \end{bmatrix} \tag{2}$$

în care [$I$], [$Y$] şi [$E$] au acelaşi sens ca în (1) şi sînt afectaţi de indicele „$C$" pentru nodurile de tip consumator şi indicele „$G$" pentru nodurile de tip generator.

Plecînd de la sistemul real exprimat prin ecuaţiile nodale (2), se poate stabili prin reducerea şi transformarea lor o schemă standardizată dedusă din corespondenţa biunivocă dintre aceste ecuaţii şi geometria reţelei [1]. Această schemă, numită schemă REI, se poate obţine pentru orice nod aparţinînd sistemului real sau pentru un nod fictiv de sarcină şi cuprinde un număr redus de noduri, şi anume numai pe cele care decid variaţia mărimilor (tensiuni, curenţi, puteri) în nodul studiat.

Nodurile care se elimină sînt „liniarizate" prin introducerea unei relaţii de dependenţă liniară între curentul injectat şi tensiunea respectivă :

$$i_h = Y_{oh} \cdot e_h \tag{3}$$

Pentru a determina schema REI a unui nod consumator „$i$", sarcinile din celelalte noduri consumatoare sînt înlocuite prin admitanţe, conform relaţiei (3), iar sistemul de ecuaţii (2) devine

$$\left.\begin{aligned}
&Y_{11}\, e_1 + Y_{12}\, e_2 + \ldots + Y_{1N}\, e_N = 0 \\
&Y_{21}\, e_1 + Y_{22}\, e_2 + \ldots + Y_{2N}\, e_N = 0 \\
&\vdots \\
&Y_{i-1,1}\, e_1 + Y_{i-1,2}\, e_2 + \ldots + Y_{i-1,N}\, e_N = 0 \\
&Y_{i1}\, e_1 + Y_{i2}\, e_2 + \ldots + Y_{iN}\, e_N = i_i \\
&\vdots \\
&Y_{N1}\, e_1 + Y_{N2}\, e_2 + \ldots + Y_{NN}\, e_N = i_N
\end{aligned}\right\} \tag{4}$$

în care

$Y_{hl} = g_{hl} + jb_{hl}$ reprezintă admitanţa între nodurile $h$ şi $l$

$$(h,\ l = 1,\ 2 \ldots N;\ h \neq l);$$

$$Y_{hh} = -\left(\sum_{l=1}^{N} Y_{hl} + Y_{oh}\right);\quad (h \in N_C,\ h \neq i);$$

$Y_{oh}$ este admitanţa corespunzătoare liniarizării puterii active şi reactive din nodul $h$.

Pentru obţinerea matricei reziduale pătratice care caracterizează sistemul compus din nodul în studiu şi nodurile generatoare, este necesară eliminarea succesivă în sistemul liniarizat de $N$ ecuaţii în complex (4) a $N_c - 1$ variabile complexe.

Prin substituirea variabilei $e_1$, dedusă din prima ecuaţie a sistemului (4), în celelalte $N-1$ ecuaţii rezultă un nou sistem de $N-1$ ecuaţii în variabilele $e_2 \ldots e_N$, ai cărui coeficienţi sînt

$$Y_{hl}^{(1)} = Y_{hl} - \frac{Y_{1h} \cdot Y_{1l}}{Y_{1l}} \quad (h, l = 2,\ 3,\ \ldots, N) \tag{5}$$

Aplicînd acest procedeu (Gauss) de $(N_c - 1)$ ori, se obţine sistemul de ecuaţii reziduale

$$\left.\begin{aligned}
&Y_{ii}^{(N_c-1)}\, e_i + \ldots + Y_{iN}^{(N_c-1)}\, e_N = i_i \\
&\vdots \\
&Y_{Ni}^{(N_c-1)}\, e_i + \ldots + Y_{NN}^{(N_c-1)} = i_N
\end{aligned}\right\} \tag{6}$$

în care termenul general se determină cu relaţia

$$Y_{km}^{(p)} = Y_{km}^{(p-1)} - \frac{Y_{pk}^{(p-1)}\ Y_{pm}^{(p-1)}}{Y_{pp}^{(p-1)}} \quad (p = 1, \ldots, N_c - 1) \tag{7}$$

Termenii liberi fiind nuli în primele $N_c-1$ ecuaţii (4), rezultă că $i_i, \ldots, i_N$ rămîn neschimbaţi în ecuaţiile reziduale.

Prima ecuaţie a sistemului (6) reprezintă schema REI a nodului în studiu „i", iar sistemul (6) reprezintă echivalentul REI al acestui nod.

**Moduri de utilizare a proprietăţilor matricei [Y] în procesul de eliminare**

Matricea nodală de admitanţe $[Y]$ are următoarele proprietăţi :

a) $Y_{hl} = Y_{lh}$ (simetrie) ;

b) $Y_{hh} = -\sum_{l}^{N} Y_{lh} \neq 0$ (elementele diagonalei nenule) ;

c) marea majoritate a coeficienţilor $Y_{hl}$ sînt zero ;

d) matricea nu este prost condiţionată, adică raportul dintre elementul cu modulul maxim şi elementul cu modulul minim nenul nu este un număr foarte mare (inferior lui $10^3$).

Programele întocmite pentru determinarea echivalenţilor REI şi a imaginilor nodale ţin cont de aceste proprietăţi astfel :

— proprietatea a) este utilizată prin faptul că se memorează şi se calculează numai termenii diagonali şi supradiagonali ai matricei $[Y]$ ;

— utilizarea proprietăţilor b) şi d) rezultă din structura formulelor (5) şi (7) ;

— proprietatea c) este utilizată în mod diferit în fiecare program.

Cînd se efectuează eliminarea succesivă a $N_c - 1$ variabile se disting următoarele trei tipuri de elemente supradiagonale :

α) elemente care sînt nenule iniţial şi care suferă sau nu modificări în cursul transformării ;

β) elemente care sînt nule iniţial şi care nu se modifică în timpul eliminării ;

γ) elemente care sînt iniţial nule dar care, modificate conform formulei (7), devin nenule.

Programele care utilizează matricea $[Y]$ au la bază următoarele principii :

— introduc în memorie numai elementele din categoria α ;

— anticipează elementele din categoria γ, rezervîndu-le locuri în memorie ;

— ignoră complet elementele din categoria β.

Se poate uşor observa că numărul de elemente de tip γ depinde de ordinea de eliminare a variabilelor ; cu cît numărul acestor elemente este mai mic, cu atît durata de calcul şi memoria ocupată sînt mai reduse. Scăderea timpului de calcul nu este proporţională cu scăderea numărului de elemente de tip γ, această reducere a timpului de calcul fiind mult mai accentuată.

Minimizarea absolută a elementelor din categoria γ devine prohibitivă chiar şi pentru un calculator rapid [4] ; de aceea se caută soluţii euristice cît mai bune.

Programele REI (1) şi REI** (2) nu folosesc un criteriu special privind ordinea de eliminare ; utilizatorii programelor pot numerota într-o ordine avantajoasă nodurile care vor fi eliminate, programele luînd în consideraţie ordinea de eliminare dată de utilizatori.

Cînd se doreşte obţinerea echivalenţilor REI pentru toate nodurile consumatoare, numerotarea eventual avantajoasă a nodurilor pentru obţinerea primului echivalent nu mai este în general avantajoasă pentru următorii. Acest inconvenient nu este compensat decît de faptul că algoritmul programului — REI(1) — este simplu.

Programul REI** (2) utilizează metoda eliminărilor multiple [2], metodă al cărei principiu de bază este utilizarea, la obţinerea echivalentului pentru un nod, a rezultatelor din echivalentul calculat anterior. Acest procedeu duce la scurtarea substanţială a timpului de calcul fără a aduce complicaţii majore programului. Astfel, pentru determinarea echivalenţilor REI ai tuturor nodurilor consumatoare prin programul REI (1) sînt necesare $(N_c-1)^2$ eliminări de linii, în timp ce prin programul REI** (2), datorită folosirii metodei eliminărilor multiple, sînt necesare numai $(N_c-1)(N-2)/2$ eliminări. De exemplu, pentru o reţea cu 51 de noduri consumatoare se execută 1 525 de eliminări, faţă de 2 500 de eliminări prin programul REI(1).

Programul REI** (2) s-a dovedit foarte eficient pentru reţele mici şi medii (pînă la $N=70$).

Pentru matrice mai mari ($N>100$), problema obţinerii unui număr cît mai restrîns de elemente de tip γ devine primordială, cu atît mai mult cu cît matricea reziduală are foarte puţine elemente supradiagonale nule. În acest caz, se obţin rezultate foarte bune utilizînd metoda eliminărilor ordonate [4], care constă în următoarele :

— din lista liniilor din matricea $[Y]$ care trebuie eliminate, se alege linia cu cele mai puţine elemente nenule ;

— se elimină formal această linie, în urma căreia elementele liniei respective dispar şi apar elemente de tip γ în alte linii ;

— din liniile rămase se alege din nou linia cu cele mai puţine elemente nenule ;

— se elimină formal şi această linie ;

— se continuă procesul pînă cînd sînt epuizate toate liniile ce trebuie eliminate.

În cazul în care la un anumit pas mai multe linii au acelaşi număr de elemente, nu se aplică alt criteriu de alegere a liniei care va fi eliminată.

Această metodă euristică de minimizare a elementelor de tip γ s-a dovedit deosebit de eficientă [3].

Programul REI(3) utilizează metoda eliminărilor ordonate, permiţînd astfel studiul unor reţele de dimensiuni mai mari ($N = 200$).

## Concluzii

Calculul echivalenţilor REI, pe lîngă importanţa lui în studiile privind sistemul electroenergetic, ridică şi probleme interesante în folosirea unor clase particulare importante de matrice cu proprietăţi speciale, de tipul matricei [Y].

Prezentarea unor cifre comparative privind eficienţa fiecărei metode ar avea o valoare cu totul relativă, ţinînd cont de faptul că programele ce utilizează metoda eliminărilor multiple sau metoda eliminărilor ordonate sînt întocmite pe calculatoare diferite, în limbaje diferite. Pe de altă parte, combinarea celor două metode de eliminare creează dificultatea executării unor eliminări ordonate fără a se pleca de la prima linie. Din această cauză nu există un program care să combine metodele respective.

Avînd în vedere că pentru reţelele de dimensiuni reduse (pînă la 70 noduri) umplerea matricei [Y] în urma eliminărilor nu este prohibitivă, se recomandă metoda eliminărilor multiple, care va reduce substanţial timpul de calcul.

Această concluzie este valabilă în cazul utilizării calculatoarelor existente în ţara noastră. Pe calculatoare cu memorie internă mai mare este foarte probabil ca metoda eliminărilor multiple să fie eficientă şi pentru reţele de dimensiuni mai mari.

Pentru reţele mai mari este avantajoasă metoda eliminărilor ordonate, întrucît un număr redus de elemente în matricea [Y], după eliminare, devine esenţial pentru organizarea memoriei calculatorului.

În studiul stabilităţii statice şi dinamice a sistemelor electroenergetice interconectate actuale, în care se iau în considerare peste 60 de noduri generatoare şi 120 de noduri consumatoare, îşi găsesc o largă aplicabilitate echivalenţii şi schemele REI, care permit selectarea regimurilor cu rezervă mică şi determinarea condiţiilor de înrăutăţire a acestor regimuri.

Frecventa utilizare a programelor de calcul al echivalenţilor REI, în studii ale ISPE privind sistemul electroenergetic prezent şi în perspectivă, a scos în evidenţă importanţa indicaţiilor de mai sus.

### Bibliografie


[1] D i m o, P. *Analiza nodală a sistemelor electroenergetice.* Editura Academiei R.S.R., 1968.

[2] D i m o, P., I o n e s c u, S. şi S t a a d e c k e r, M. *Determinarea schemelor REI prin metoda eliminărilor multiple.* În: Energetica, nr. 12, 1967.

[3] T i n n e y, W. F. şi H a r t, C. E. *Power flow solution by Newton's method.* În: Transactions on PAS, noiembrie 1967.

[4] S t a a d e c k e r, M. *Macroinstruction utilisée pour les problèmes d'électroénergétique.* În: Buletin I.S.P.E.

[5] * * * *Calculul regimurilor staţionare de funcţionare a sistemului energetic R.P.R. cu ajutorul calculatoarelor electronice Elliott 803 şi CIFA 102.* I.S.P.E.

[6] * * * *Studiu privind selecţia unor criterii de înrăutăţire aplicate la determinarea rezervei de stabilitate statică a sistemului energetic naţional.* I.S.P.E.

[7] * * * *Algoritm şi program pentru determinarea echivalenţilor REI şi a imaginilor nodale.* I.S.P.E.


**(Articol intrat în redacţie la 2 decembrie 1971)**

# Aspecte tehnico-economice privind tranzistorizarea circuitelor de comandă şi semnalizare din staţiile electrice de 10, 20 şi 35 kV

Ing. M. Porţeanu şi
ing. M. Săndulescu*)

### Stabilirea costului total al circuitelor de comandă şi semnalizare

Diferitele variante considerate pentru stabilirea costului circuitelor de comandă şi semnalizare din staţii electrice de 10, 20 şi 35 kV, inclusiv staţiile serviciilor proprii din centrale, sînt prezentate în tabelele 1 şi 2 şi corespund tehnicii releelor electromagnetice, respectiv circuitelor logice tranzistorizate. Deosebirea între variantele $1R$ şi $2R$, pe de o parte, şi $1R_D$ şi $2R_D$, pe de altă parte, constă în amplasarea aparatajului de protecţie în camera de comandă, respectiv în staţie. Între variantele cu circuite logice tranzistorizate pentru comanda individuală cu două butoane şi cea cu un buton nu există deosebiri sensibile din punctul de vedere al costului şi componenţei, astfel încît s-a considerat o singură variantă de comandă individuală. Pentru comanda cu preselecţie cu circuite logice tranzistorizate, s-a analizat numai varianta cu preselecţia cîmpului, întrucît preselecţia aparatului conduce la complicaţii constructive şi funcţionale.

Urmărind tabelele 1 şi 2, se constată că nu toate variantele cu relee corespund la variante de acelaşi fel cu circuite logice tranzistorizate, şi viceversa. Aşa, de exemplu, variantele $1T_b$, $2T_b$, $1T_{D_b}$ şi $2T_{D_b}$, la care se realizează şi controlul circuitelor de semnalizare, nu au corespondent printre variantele cu relee electromagnetice.

*) Mircea Porţeanu este inginer la I.C.P.E.T.; Mihai Săndulescu este inginer la I.R.M.E.

*Tabelul 1*

**Variante analizate pentru costul circuitelor de comandă și semnalizare a întreruptoarelor și separatoarelor, realizate cu relee electromagnetice**

| Denumirea variantei | Circuite de comandă | | | | | | | Circuite de semnalizare | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Comanda întreruptoarelor | | | | | Comanda separatoarelor | | Controlul circuitelor de semnalizare | |
| | Felul comenzii | | | Curenți | | Felul comenzii | | Felul controlului | |
| | Individuală | Cu preselecție: Cîmp | Cu preselecție: Aparat | Tari | Slabi | Manuală | De la distanță | Fără control | Cu control |
| $1R$ | da | — | — | da | — | da | — | da | — |
| $2R$ | da | — | — | da | — | da | — | da | — |
| $3R$ | da | — | — | — | da | da | — | da | — |
| $4R$ | — | da | — | — | da | da | — | da | — |
| $5R$ | — | — | da | — | da | da | — | da | — |
| $1R_D$ | da | — | — | da | — | — | da | da | — |
| $2R_D$ | da | — | — | da | — | — | da | da | — |
| $3R_D$ | da | — | — | — | da | — | da | da | — |
| $4R_D$ | — | da | — | — | da | — | da | da | — |
| $5R_D$ | — | — | da | — | da | — | da | da | — |

*Tabelul 2*

**Variante analizate pentru costul circuitelor de comandă și semnalizare a întreruptoarelor și separatoarelor din stații de 10, 20, 35 kV, realizate cu circuite logice tranzistorizate**

| Denumirea variantei | Circuite de comandă | | | | Circuite de semnalizare | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Comanda întreruptoarelor | | Comanda separatoarelor | | Controlul circuitelor de semnalizare | |
| | Felul comenzii | | Felul comenzii | | Felul controlului | |
| | Individuală | Cu preselecția cîmpului | Manuală | De la distanță | Fără control | Cu control |
| $1T_a$ | da | — | da | — | da | — |
| $1T_b$ | da | — | da | — | — | da |
| $2T_a$ | — | da | da | — | da | — |
| $2T_b$ | — | da | da | — | — | da |
| $1T_{Da}$ | da | — | — | da | da | — |
| $1T_{Db}$ | da | — | — | da | — | da |
| $2T_{Da}$ | — | da | — | da | da | — |
| $2T_{Db}$ | — | da | — | da | — | da |

De aceea, atunci cînd se face comparația economică trebuie să se țină seamă că aceste variante, ca de altfel toate variantele cu circuite logice tranzistorizate, în general, introduc funcțiuni suplimentare față de cele cu relee electromagnetice și este firesc ca unele dintre ele să aibă un cost mai ridicat. Aceste funcțiuni suplimentare sînt fie utile — și posibile de realizat cu circuite logice tranzistorizate, din motive de preț de cost, greutate și volum, cum este cazul semnalizării defectelor în circuitele de semnalizare, contribuind deci la îmbunătățirea exploatării circuitelor de comandă — fie necesare, datorită utilizării tranzistoarelor, de exemplu, la supravegherea tensiunilor de alimentare a acestora etc.

Pe de altă parte, trebuie ținut cont că trecerea de la relee la circuite logice tranzistorizate nu se face prin simpla înlocuire a unui releu cu un circuit logic tranzistorizat. Din figura 1, în care s-a reprezentat structura generală a unui echipament cu circuite logice tranzistorizate, se observă că, pentru conversia semnalelor de curenți tari în semnale de curenți slabi și invers, sînt necesare adaptoare, respectiv amplificatoare și elemente de execuție. Prelucrarea logică a semnalelor se realizează cu circuitele logice tranzistorizate. Spre deosebire de tehnica cu relee, sursele de alimentare, adaptoarele, amplificatoarele și elementele de execuție apar ca niște elemente suplimentare. Întrucît variantele cu circuite logice tranzistorizate introduc atît funcțiuni cît și elemente suplimentare, structura costului și costul lor diferă față de variantele cu relee electromagnetice.

Metoda după care s-a calculat costul diferitelor variante presupune că fiecare stație cuprinde un număr $n_c$ de celule convenționale,

aşa cum s-a procedat la compararea costurilor diferitelor variante de comandă, protecţie şi măsură cu relee în [1]. Ca celulă convenţională se consideră celula cea mai complexă din staţia respectivă. Rezultă în final o apreciere generală

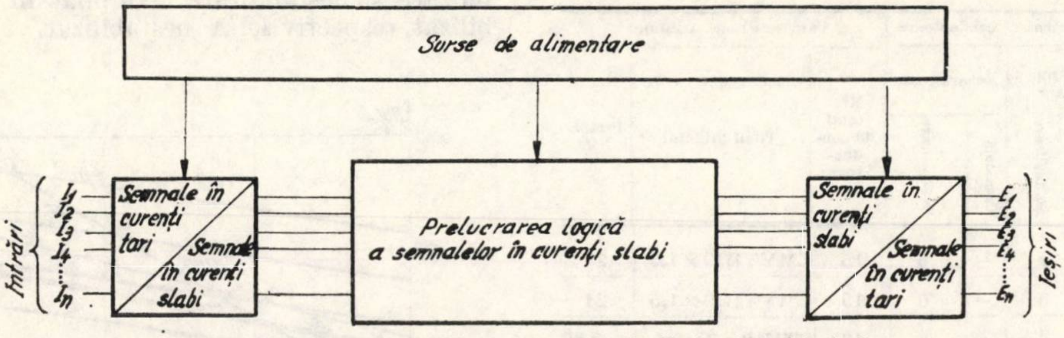



Fig. 1. Structura unui echipament cu circuite logice tranzistorizate.

asupra costului tranzistorizării circuitelor de comandă şi semnalizare ale unei staţii date. Cum numărul de tipuri de staţii întîlnite în exploatare este foarte mare, aprecierea costului real este posibilă numai prin considerarea situaţiei concrete pentru fiecare staţie în parte.

Deoarece sistemul de distribuţie cu două rînduri de bare colectoare este cel mai răspîndit la tensiunile de 10, 20 şi 35 kV, pentru calcule s-a considerat drept celulă convenţională celula cea mai complexă a acestui sistem, şi anume celula reprezentată în figura 2, atît pentru comanda de la distanţă cît şi pentru comanda manuală a separatoarelor.

Aprecierea reală a costului diferitelor variante a fost posibilă datorită realizării experimentale a unor echipamente cu circuite logice tranzistorizate pentru comandă-semnalizare cu un buton, cu două butoane şi cu preselecţie [2], [3].

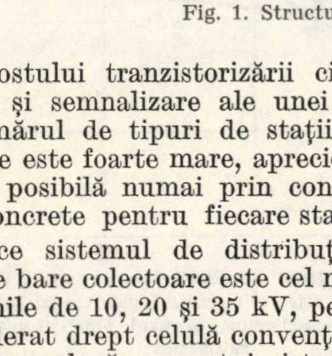



Fig. 2. Schema monofilară a celulei convenţionale considerate.

Costul total al fiecărei variante s-a calculat cu formula

$$c = c_{c_s} + c_c + c_a \qquad (1)$$

care, după cum se observă, conţine trei componente. Prin $c_{c_s}$ s-a notat costul aparatajului de comandă şi semnalizare, inclusiv costul părţilor metalice aferente acestuia. Pentru variantele cu relee electromagnetice s-a considerat aparatajul conform [1], reconsiderîndu-se preţurile la cele din anul 1970, precum şi cota-

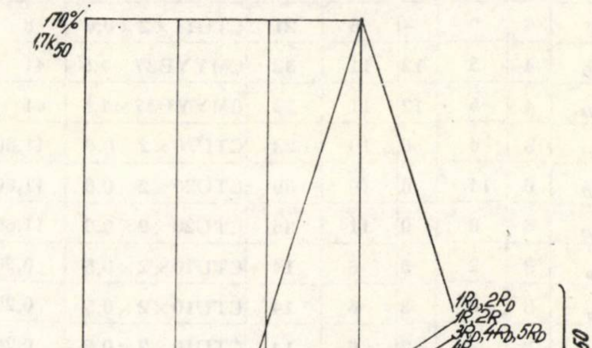



Fig. 3. Variaţia costului cablurilor în funcţie de numărul de celule din staţie şi distanţa între camera de comandă şi staţie.

parte de comandă-semnalizare din celulele prefabricate de 10, 20 şi 35 kV [4]. În cazul variantelor cu circuite logice tranzistorizate s-au considerat atît costurile componentelor electronice şi electromecanice, cît şi costul părţilor metalice.

*Tabelul 3*

**Numărul de conductoare şi tipul cablurilor necesare pentru comandă şi semnalizare cu relee ($nR$, $nR_D$) sau cu circuite logice tranzistorizate ($kT_a$, $kT_b$, $kT_{Da}$ $kT_{Db}$) la staţii de 10, 20 şi 35 kV**

| Denumirea variantei | Numărul de conductoare | | | | Caracteristicile cablului | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Întreruptoare | | Separatoare | | | | |
| | Comandă | Semnalizare | Comandă | Semnalizare | Nr. total de conductoare | Tipul cablului | Preţul, lei/m |
| $1R$ | 4 | 5 | – | 6 | 15 | CMYYB19×1,5 | 24 |
| $2R$ | 4 | 5 | – | 6 | 15 | CMYYB19×1,5 | 24 |
| $3R$ | 3 | 4 | – | 6 | 13 | CTU10×2×0,6 | 7,60 |
| $4R$ | 6 | 11 | – | 6 | 23 | CTU15×2×0,6 | 9,65 |
| $5R$ | 6 | 9 | – | 6 | 21 | CTU11×2×0,6 | 8 |
| $1R_D$ | 4 | 5 | 12 | 11 | 32 | CMYYB37×1,5 | 41 |
| $2R_D$ | 4 | 5 | 12 | 11 | 32 | CMYYB37×1,5 | 41 |
| $3R_D$ | 3 | 4 | 6 | 10 | 23 | CTU20×2×0,6 | 11,60 |
| $4R_D$ | 6 | 11 | 6 | 16 | 39 | CTU20×2×0,6 | 11,60 |
| $5R_D$ | 6 | 9 | 9 | 11 | 35 | CTU20×2×0,6 | 11,60 |
| $1T_a$ | 3 | 2 | 3 | 6 | 14 | CTU10×2×0,5 | 6,20 |
| $1T_b$ | 3 | 2 | 3 | 6 | 14 | CTU10×2×0,5 | 6,20 |
| $2T_a$ | 3 | 2 | 3 | 6 | 14 | CTU10×2×0,5 | 6,20 |
| $2T_b$ | 3 | 2 | 3 | 6 | 14 | CTU10×2×0,5 | 6,20 |
| $1T_{Da}$ | 3 | 2 | 8 | 8 | 21 | CTU12×2×0,5 | 7 |
| $1T_{Db}$ | 3 | 2 | 8 | 8 | 21 | CTU12×2×0,5 | 7 |
| $2T_{Da}$ | 3 | 2 | 8 | 8 | 21 | CTU12×2×0,5 | 7 |
| $2T_{Db}$ | 3 | 2 | 8 | 8 | 21 | CTU12×2×0,5 | 7 |

Componenta $c_c$ cuprinde costul cablurilor de legătură între camera de comandă şi staţie. Aportul acesteia este foarte important în costul total, întrucît cablurile în curenţi slabi sînt mult mai ieftine decît cablurile în curenţi tari, diferenţa de cost fiind cu atît mai mare cu cît creşte numărul de celule $n_c$ şi distanţa $L$ între camera de comandă şi staţie, după cum se poate observa în figura 3. În tabelul 3 sînt prezentate caracteristicile cablurilor utilizate pentru diferite variante de comandă-semnalizare cu relee şi circuite logice tranzistorizate [5].

Costul părţii de alimentare este reprezentat prin componenta $c_a$. La variantele cu relee electromagnetice, această componentă cuprinde costul bateriei de acumulatoare, al instalaţiei de încărcare, al circuitelor şi aparatajului de supraveghere şi protecţie, precum şi al întregii reţele de curent continuu care deserveşte ansamblul de echipamente de comandă-semnalizare. Pentru variantele cu circuite logice tranzistorizate, elementele sînt aceleaşi, dar de proporţii diferite în ceea ce priveşte costul, cu deosebirea că se mai adaugă costul surselor stabilizate şi nestabilizate, exprimat în lei/A stabilizat, respectiv lei/A nestabilizat.

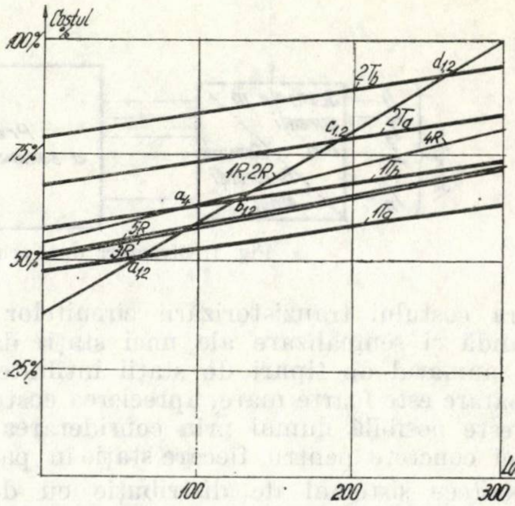



Fig. 4. Costul total al diferitelor variante de comandă-semnalizare, cu relee şi circuite logice tranzistorizate pentru staţii cu pînă la cinci celule, în cazul comenzii manuale a separatoarelor.

Fiecare dintre componentele descrise cuprinde costul materialelor, manopera, cotele aferente de regii, beneficii etc., astfel încît costul total reprezintă preţul de vînzare al diferitelor echipamente în anul 1970. Nu s-a ţinut seamă de costul cablurilor de legătură dintre celulele vecine, de costul cutiilor şi capetelor terminale, de costul suprafeţei camerei de comandă şi al canalelor de cabluri, cît şi de costul altor elemente. De asemenea, nu s-a putut aprecia economia de timp şi manoperă rezultată la proiectare, execuţie, montaj, punere în funcţiune şi întreţinere periodică, elemente care sînt net convenabile în cazul tranzistorizării. În fine, posibilitatea înlocuirii uşoare în caz de avarii, fapt deosebit de important în energetică, nu a putut fi apreciată, ca şi celelalte elemente prezentate mai sus, din lipsa unor date pentru calcule.

Rezultatele calculelor sînt arătate în figurile 4—9, în care s-a reprezentat costul procentual în funcţie de distanţa $L$ şi de $n_c$. Pentru $L = 0$ corespunde cazul în care aparatajul de comandă-semnalizare se află montat chiar în celulă sau foarte aproape de aceasta. Costul variantei de comandă individuală în curenţi tari, cu relee electromagnetice, se consideră de 100% în toate cazurile, costul tuturor celorlalte variante exprimîndu-se în funcţie de acesta.

**Comparaţie între diferite variante de comandă-semnalizare cu relee şi circuite logice tranzistorizate**

*Comparaţie între diferite variante de comandă-manuală a separatoarelor*

Fiecare variantă tranzistorizată are un domeniu de eficienţă sau ineficienţă economică, după cum costul ei este mai redus, respectiv mai ridicat decît cel al variantei cu relee electromagnetice. Punctul care delimitează cele două domenii se numeşte punct critic şi este caracterizat printr-o distanţă critică $L_{cr}$.

În cazul comenzii manuale a separatoarelor, pentru $n_c = 5$ celule, se observă că varianta $1T_a$ devine mai ieftină decît oricare dintre variantele cu relee, pentru $L > 60$ m. Cînd $L = 300$ m, toate variantele tranzistorizate sînt mai ieftine decît variantele $1R$ şi $2R$ cu relee.

Cu creşterea numărului de celule, punctele critice se deplasează spre distanţe $L$ mai mari. Acest fapt este perfect explicabil, întrucît o dată cu creşterea numărului de celule complexitatea echipamentului tranzistorizat creşte, iar diferenţele de cost între cablurile de curenţi tari şi cele de curenţi slabi devin mai importante pentru distanţe mari.

Costul variantelor tranzistorizate pentru comanda cu preselecţie are o tendinţă de creştere cu atît mai pronunţată cu cît numărul de celule este mai mare, nedepăşind însă 125%, cifră ce reprezintă valoarea maximă la $n_c = 50$ celule.

*Comparaţie între diferite variante de comandă de la distanţă a separatoarelor*

Dacă comanda separatoarelor se face de la distanţă, raportul de costuri se schimbă foarte mult, după cum se poate remarca din figurile 5, 7 şi 9. Punctele critice se deplasează spre valori mai mari ale distanţei între camera de comandă şi staţie. Variantele tranzistorizate devin mai ieftine decît cele cu relee de la distanţe $L > 150$ m. Costul variantelor tranzistorizate pentru comanda cu preselecţie este de aproximativ 125% la $n_c = 5$ celule şi creşte pînă la 275% pentru staţii cu 50 de celule. La astfel de staţii, complexitatea circuitelor de selecţie este foarte mare, pentru că se comandă de la distanţă nu numai întreruptoarele, ci şi separatoarele.

În ceea ce priveşte comanda individuală, diferitele variante tranzistorizate ale acesteia admit domenii de eficienţă economică la care, în unele cazuri, ca, de exemplu, atunci cînd distanţa $L$ este de 300 m, costul reprezintă 75% din costul variantei similare cu relee, după cum se observă din figura 9.

*Comparaţie între diferite variante de comandă individuală şi de la distanţă a separatoarelor*

Această comparaţie este necesară atunci cînd se pune problema proiectării unei staţii şi

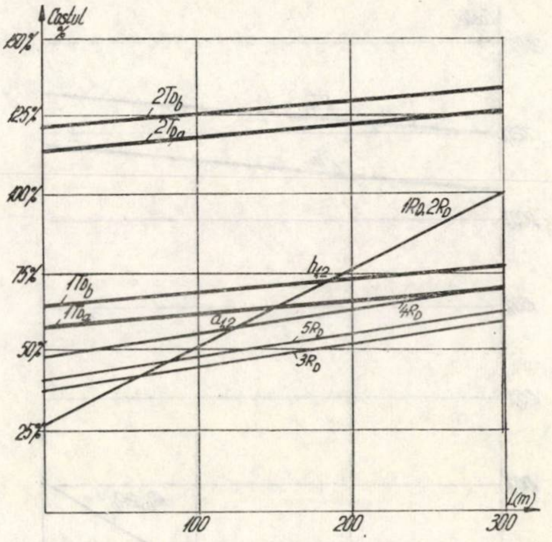



Fig. 5. Costul total al diferitelor variante de comandă-semnalizare cu relee şi circuite logice tranzistorizate pentru staţii cu pînă la cinci celule, în cazul comenzii de la distanţă a separatoarelor.

trebuie ales tipul de comandă a separatoarelor, manuală sau de la distanţă.

Examinînd figurile 4 şi 5 pentru $n_c = 5$ celule, se constată că punctele critice în cazul

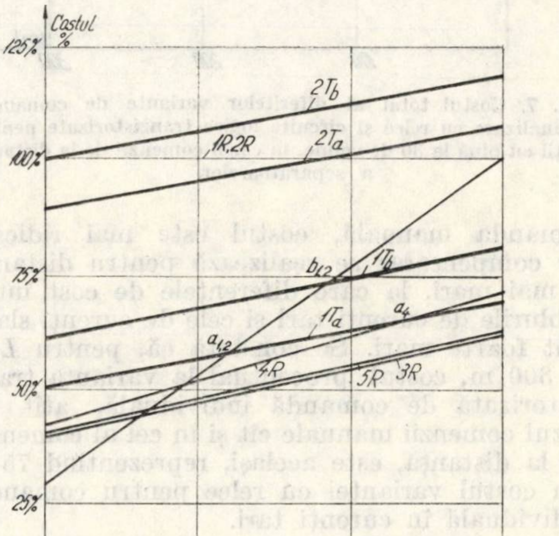



Fig. 6. Costul total al diferitelor variante de comandă-semnalizare cu relee şi circuite logice tranzistorizate pentru staţii cu pînă la 30 de celule, în cazul comenzii manuale a separatoarelor.

comenzii individuale sînt de 60, respectiv de 150 m, pentru ca la $n_c = 30$ (fig. 6 şi 7) să avem 125 şi respectiv 180 m. Această deplasare

a punctului critic, pe măsură ce crește numărul de celule, este explicabilă. Odată cu creșterea complexității echipamentului la comanda de la distanță a separatoarelor, în comparație cu

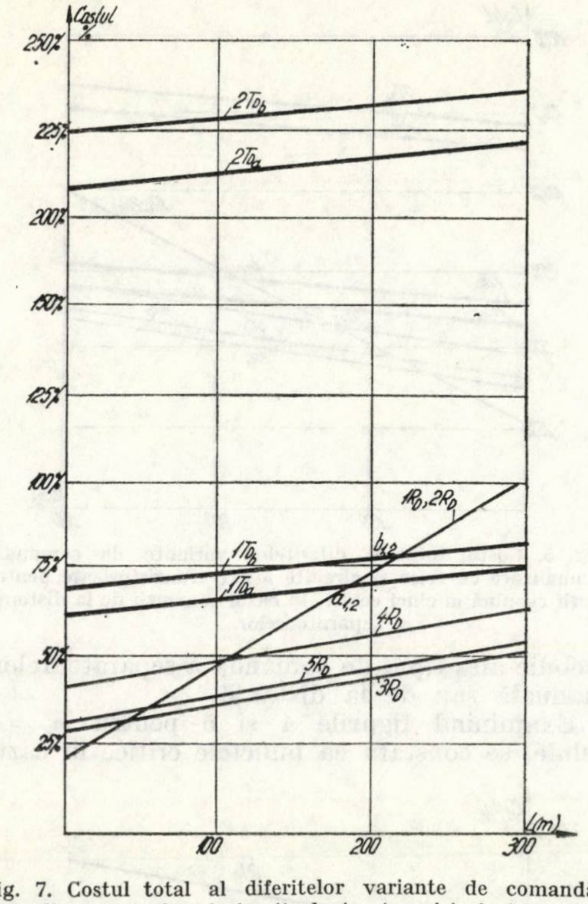



Fig. 7. Costul total al diferitelor variante de comandă-semnalizare cu relee și circuite logice tranzistorizate pentru stații cu pînă la 30 de celule, în cazul comenzii de la distanță a separatoarelor.

comanda manuală, costul este mai ridicat, iar compensarea se realizează pentru distanțe $L$ mai mari, la care diferențele de cost între cablurile de curenți tari și cele de curenți slabi sînt foarte mari. Se constată că, pentru $L = 300$ m, costul procentual la varianta tranzistorizată de comandă individuală, atît în cazul comenzii manuale cît și în cel al comenzii de la distanță, este același, reprezentînd 75% din costul variantei cu relee pentru comanda individuală în curenți tari.

Costul variantelor tranzistorizate de comandă cu preselecție nu-l depășește pe cel al variantelor cu relee pentru comanda individuală decît la $n_c = 5$ celule, cînd comanda separatoarelor se face manual, reprezentînd 90%. Pentru $n_c = 30$ și $n_c = 50$, costul lor procentual ajunge la 115 și respectiv 120%.

Dacă comanda separatoarelor are loc de la distanță, atunci preselecția trebuie să se facă și pentru separatoare, deci intervin noi circuite de selecție, ceea ce face ca costul comenzii cu preselecție să fie mai mare. După cum se poate remarca din figurile 4 și 5, la $n_c = 5$ costul procentual al variantelor tranzistorizate pentru comanda cu preselecție, în cazul comenzii de la distanță a separatoarelor, ajunge la 125%, față de 90% atunci cînd comanda se face manual. Diferența crește și mai mult la $n_c = 30$ (fig. 6 și 7), costurile fiind de 225 și respectiv 120%, iar la $n_c = 50$ costurile sînt de 275 și respectiv 125% (fig. 8 și 9). Acest salt atît de pronunțat se datorește faptului că circuitele de selecție devin din ce în ce mai complicate odată cu creșterea numărului de celule.

În cazul unui număr mare de celule, de exemplu 50, este mai convenabil ca preselecția să se facă pe porțiuni, adică instalația să fie astfel divizată, încît să existe, de exemplu, 10 casete de preselecție, pentru fiecare cinci celule cîte una. Un dezavantaj care apare este acela că în loc să existe o singură casetă de comandă, vor exista zece casete. Acesta este un dezavantaj de exploatare la prima vedere. Din punct de vedere economic, însă, costul se reduce de la 275 la 125%. Pe de altă parte, o eventuală defectare a circuitelor de selecție ar conduce la scoaterea din funcțiune a întregii comenzi cu preselecție pentru cele 50 de celule. Dacă se adoptă soluția cu divizarea în cîte zece casete de preselecție, fiecare dintre acestea deservind cîte cinci celule, defectarea circuitelor de selecție ale unei părți nu va scoate din funcțiune decît comanda cu preselecție pentru cinci celule, circuitele de preselecție pentru cele-

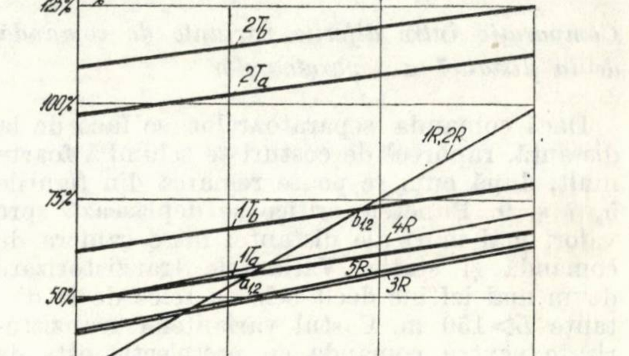



Fig. 8. Costul total al diferitelor variante de comandă-semnalizare cu relee și circuite logice tranzistorizate pentru stații cu pînă la 50 de celule, în cazul comenzii manuale a separatoarelor.

lalte 45 de celule rămînînd neatinse de defect. Se poate spune deci că, atît din punctul de vedere al investiției cît și din cel al exploatării, comanda cu preselecție tranzistorizată pentru

un număr $n_c$ de celule trebuie să se facă prin $c_s$ casete de preselecţie, fiecare din acestea deservind cîte $c$ celule, astfel încît

$$n_c = c\,c_s \qquad (2)$$

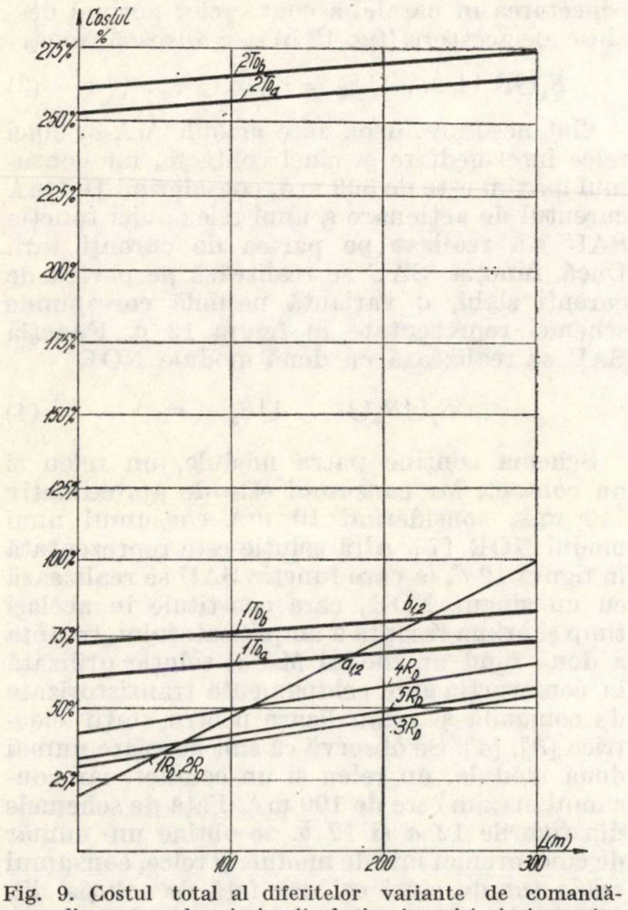



Fig. 9. Costul total al diferitelor variante de comandă-semnalizare cu relee şi circuite logice tranzistorizate pentru staţii cu pînă la 50 de celule, în cazul comenzii de la distanţă a separatoarelor.

## Influenţa alimentării stabilizate sau nestabilizate asupra costului părţii de alimentare

În figura 10 s-a reprezentat variaţia costului părţii de alimentare pentru variantele tranzistorizate de comandă şi semnalizare din tabelul 2, în funcţie de numărul de celule $n_c$ din staţie şi de felul alimentării, din surse stabilizate (linii pline) sau nestabilizate (linii întrerupte), în ipoteza unui consum de 10 mA/modul logic. Costul diferă de la variantă la variantă, ca o consecinţă a faptului că şi complexitatea acestora diferă foarte mult.

La comanda individuală, variantele $1T_a$, $1T_b$, $1T_{Da}$ şi $1T_{Db}$, în cazul alimentării stabilizate, creşterea costului mediu al părţii de alimentare pentru $n_c = 50$ celule faţă de cel pentru $n_c = 5$ celule, considerat drept cost de comparaţie, este de aproximativ şapte ori, în timp ce la comanda cu preselecţie, variantele $2T_a$, $2T_b$, creşterea este de 11 ori, iar la variantele $2T_{Da}$ şi $2T_{Db}$ de aproximativ 21 de ori. Dacă alimentarea se face din surse nestabilizate, creşterile sînt mult mai mici, de 6, 8 şi respectiv 10 ori. Costul mediu al alimentării stabilizate este mai mare, faţă de cel al alimentării nestabilizate, de cinci ori la $n_c = 5$ celule şi de 17 ori la $n_c = 50$ celule, în cazul variantelor $1T_a$, $1T_b$, $1T_{Da}$, $1T_{Db}$, $2T_a$, $2T_b$, respectiv de 18 şi 21 ori în cazul variantelor $2T_{Db}$ şi $2T_{Da}$.

Din punctul de vedere al consumului, dacă pentru echipamente mici consumul este de ordinul amperilor, la echipamente foarte complexe, cum sînt cele pentru staţii cu 30, 40 şi 50 de celule, consumul este foarte ridicat, putînd ajunge la sute de amperi, ceea ce face necesare surse de mare şi foarte mare putere.

Cele prezentate mai sus arată că alimentarea din surse stabilizate este foarte scumpă şi considerente economice impun ca alimentarea să se facă din surse nestabilizate. Aceasta cere însă ca modulele logice să poată funcţiona între limite foarte largi de variaţie a tensiunilor de alimentare, ceea ce este posibil atît în cazul tranzistoarelor cu germaniu sau siliciu, cît şi al circuitelor integrate, dacă dimensionarea

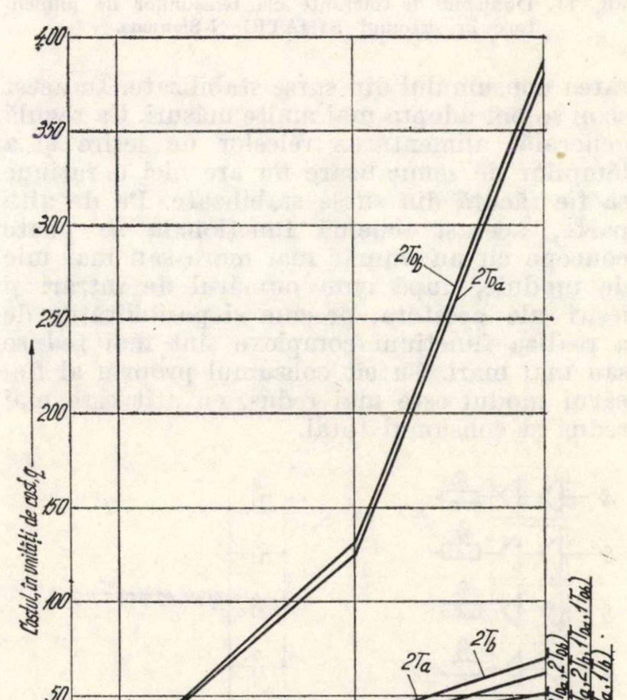



Fig. 10. Variaţia costului alimentării din surse stabilizate şi nestabilizate în funcţie de numărul de celule din staţie şi de tipul de variantă de comandă-semnalizare.

se face corespunzător acestui scop. Un exemplu de sistem de comutaţie statică dimensionat pentru variaţii foarte mari ale tensiunilor de alimentare este sistemul SIMATIC N (Siemens), domeniul de toleranţe al tensiunilor de alimen-

tare pozitivă şi negativă fiind prezentat în figura 11 [6]. De obicei, tensiunile de alimentare se aleg fie de 12V, fie de 24 V.

O altă cale prin care se poate reduce foarte mult costul părţii de alimentare este micşo-

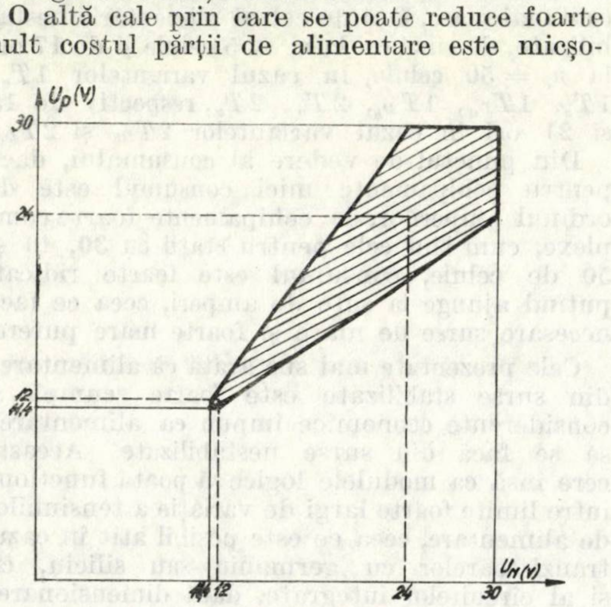



Fig. 11. Domeniul de toleranţe ale tensiunilor de alimentare la sistemul SIMATIC N-Siemens.

rarea consumului din surse stabilizate. În acest scop se pot adopta mai multe măsuri. Ca regulă generală, alimentarea releelor de ieşire şi a lămpilor de semnalizare nu are nici o raţiune să fie făcută din surse stabilizate. Pe de altă parte, aceeaşi schemă funcţională se poate concepe cu un număr mai mare sau mai mic de module, după cum numărul de intrări şi ieşiri ale acestora, precum şi posibilităţile de a realiza funcţiuni complexe sînt mai reduse sau mai mari. Cu cît consumul propriu al fiecărui modul este mai redus, cu atît este mai redus şi consumul total.

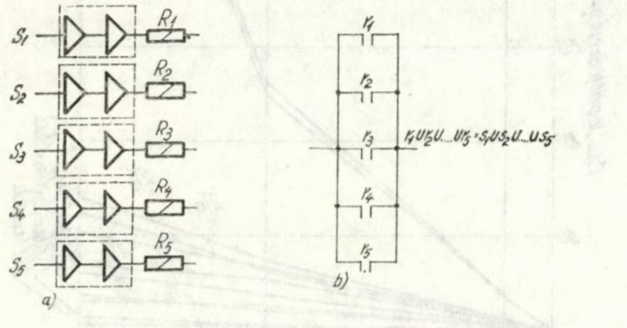



Fig. 12. Diferite moduri de realizare practică a funcţiei logice de amplificare SAU.

O deosebită atenţie trebuie acordată la realizarea practică a funcţiilor logice de amplificare. Astfel, funcţia SAU pentru un număr de $n$ semnale, $S_1, S_2, \ldots, S_n$, se poate realiza în diferite moduri. Dacă se consideră $n = 5$, o variantă este cea din figurile 12 *a* şi 12 *b*, fiecare semnal fiind amplificat cu două module MA-3 [7], ultimul acţionînd un releu. Prin conectarea în paralel a contactelor normal deschise ale acestora (fig. 12 b) se realizează funcţia

$$S_1 \cup S_2 \cup \ldots \cup S_5 = r_1 \cup r_2 \cup \ldots \cup r_5 \quad (3)$$

Sînt necesare, deci, zece module MA-3, cinci relee intermediare şi cinci contacte, iar consumul maxim este de 500 mA, considerînd 100 mA curentul de acţionare a unui releu; aici funcţia SAU s-a realizat pe partea de curenţi tari. Dacă funcţia SAU se realizează pe partea de curenţi slabi, o variantă posibilă corespunde schemei reprezentate în figura 12 *c*. Funcţia SAU se realizează cu două module NOR

$$S_1 \cup S_2 \cup \ldots \cup S_5 = r \quad (4)$$

Schema conţine patru module, un releu şi un contact, iar consumul este de aproximativ 110 mA, considerînd 10 mA consumul unui modul NOR [7]. Altă soluţie este reprezentată în figura 12 *d*, la care funcţia SAU se realizează cu un singur NOR, care constituie în acelaşi timp şi prima treaptă a amplificatorului, treapta a doua fiind un modul MA-3, soluţie utilizată în construcţia unor echipamente tranzistorizate de comandă şi semnalizare pentru staţii electrice [3], [4]. Se observă că sînt necesare numai două module, un releu şi un contact, iar consumul maxim este de 100 mA. Faţă de schemele din figurile 12 *a* şi 12 *b*, se obţine un număr de cinci ori mai mic de module şi relee, consumul scade tot de cinci ori, iar faţă de soluţia din [7] sînt de două ori mai puţine module şi un consum de curent cu 10% mai mic.

Din cele prezentate se constată că este preferabil să fie utilizate module logice, cu care se pot realiza funcţiuni complexe şi permit în acelaşi timp un număr mare de intrări şi ieşiri, fiecare modul avînd un consum cît mai redus. În final, aceasta conduce la un număr redus de module, plăci cu circuite imprimate, cost şi consum cu mult mai mic de curent.

## Concluzii

Pentru o apreciere generală asupra eficienţei economice a tranzistorizării se indică o metodă de calcul care are în vedere costul materialelor, cablurilor, părţilor de alimentare, inclusiv manopere, regii, beneficii şi alte cote aferente. Rezultatele prezentate arată o dependenţă a costului de tipul de variantă de comandă-semnalizare, de numărul de celule din staţie, precum şi de distanţa între camera de comandă şi staţie. Avantaje economice deosebite se obţin atunci cînd alimentarea se face din surse nestabilizate, iar circuitele de comandă

și semnalizare sînt realizate sub formă de module. Întrucît calculul costului diferitelor variante s-a făcut considerîndu-se drept celulă convențională celula cu cea mai mare complexitate, iar pe de altă parte tehnologiile de fabricație evoluează rapid — ceea ce se resfrînge asupra prețurilor, care variază de la an la an și de la țară la țară, — pentru calculul costului tranzistorizării circuitelor de comandă și semnalizare ale unei stații date trebuie considerată componența exactă a stației, precum și nivelul prețurilor la data respectivă.

**Bibliografie**


[1] Negreanu, C. și Popa, M. *Soluții moderne în construcția camerelor de comandă electrice din centrale și stații și posibilități de aplicare în R.P.R.* În: Energetica, 11, 1965, nr. 7, p. 331—337.

[2] Porțeanu, M. și Săndulescu, M. *Realizări experimentale în tranzistorizarea comenzilor și semnalizărilor din stații electrice.* În: Energetica, 19, 1971, nr. 10, p. 493—504.

[3] Porțeanu, M., Săndulescu, M. și Marinescu, N. *Comanda cu preselecție cu circuite logice tranzistorizate în centrale și stații electrice.* Sesiunea jubiliară de comunicări tehnico-științifice I.S.P.E., martie 1969.

[4] * * * *Catalog I.C.M.P.*

[5] * * * *Catalog F.C.M.E.*

[6] Kürner, H., Piening, I. și Sinn, G. *SIMATIC N, ein niederfrequentes Schaltkreissystem mit Silizium halbleitern.* În: Siemens-Zeitschrift, 38, 1964, nr. 11, p. 795—800.

[7] * * * *Instrucțiuni pentru sistemul UNILOG - tip A.*


**(Articol intrat în redacție la 6 iulie 1971)**

# Studiul proceselor dinamice din reactoarele nucleare energetice cu ajutorul calculatoarelor analogice

Ing. Fl. Alexe
și ing. M. Barasch*)

Studiul comportării dinamice a unui reactor nuclear în proiectare sau în construcție trebuie făcut încă din faza de proiectare a reactorului și a instalațiilor sale aferente. Pentru aceasta se impune, ca metodă de studiu, construirea unui model. În majoritatea cazurilor un model la scară este costisitor, iar studiile efectuate pot fi neconcludente. Pentru majoritatea proceselor dinamice din reactoarele nucleare s-au elaborat modele matematice suficient de precise, astfel încît studiul acestor procese să poată fi redus la studiul modelelor lor matematice fără a avea erori prea mari. Modelele matematice utilizate folosesc sisteme de ecuații diferențiale de diferite grade, a căror rezolvare pur matematică este dificilă.

Una dintre metodele cele mai utilizate pentru studiul problemelor de cinetică ale reactoarelor nucleare este construirea, pe baza modelului matematic, a unui model analogic și analiza cu un simulator analogic cu elemente electronice de curent continuu.

Prin alegerea unor scări de timp corespunzătoare se pot modela atît procese foarte rapide cît și procese foarte lente, astfel încît să se permită o bună observare a desfășurării lor în timp.

Folosirea unui simulator analogic poate furniza informații atît calitative cît și cantitative asupra procesului studiat. Cînd se urmărește obținerea de informații calitative asupra comportării dinamice a reactorului nuclear, se pot realiza modelatoare electronice simple și ieftine, care să aibă o precizie de 1—2% pentru modelarea fiecărui proces în parte. Asemenea modelatoare pot fi asamblate folosind elementele unui calculator analogic universal de precizie medie (de exemplu, calculatorul MAC 1 de la I.P.B.), elemente ce pot fi apoi refolosite pentru studiul altor probleme.

Acest procedeu este foarte avantajos din punctul de vedere al costului, dar are dezavantajul preciziei scăzute și al faptului că nu poate studia fenomenele în conexiunea lor.

Cînd se urmărește obținerea unor informații cantitative mai exacte și studiul diferitelor procese dinamice în interconexiune, se impune folosirea unor elemente analogice de precizie ridicată, interconectate pe grupe de funcțiuni. Neglijînd sursa primară de erori (aproximațiile efectuate în construirea modelelor matematice sînt foarte mici), vor rezulta erori secundare ale elementelor analogice sub 0,02%, deci precizia informațiilor cantitative obținute prin modelarea analogică este suficient de ridicată. În continuare se vor arăta principiile de modelare și schemele principiale ale unor circuite analogice care simulează anumite procese dinamice specifice reactoarelor nucleare.

## Modelarea analogică a procesului de otrăvire cu Xe

Produsele de fisiune ce apar în combustibilul nuclear în urma fisionării $U^{235}$ sau $Pu^{239}$ au mase atomice în jurul valorilor 90—95 și 135—140. În urma unei funcționări mai îndelungate

*) Ing. Florin Alexe este asistent la Institutul politehnic București; Marian Barasch este inginer proiectant la I.S.P.E.

a reactorului nuclear, acumularea acestor produse de fisiune va duce la o creştere a secţiunii de captură a combustibilului, scăzînd producţia specifică de neutroni pe absorbţie. Acest proces, denumit „otrăvirea reactorului cu produse de fisiune", influenţează negativ rezerva de reactivitate a reactorului, comportarea lui la sarcini variabile şi, în mod indirect, scade gradul de ardere a combustibilului nuclear. Produsele de fisiune cele mai „otrăvitoare" sînt acelea care au randament de apariţie mare şi o secţiune de captură mare — în ordinea importanţei, $_{54}Xe^{135}$ şi $_{62}Sm^{149}$. Deoarece otrăvirea cu $_{54}Xe^{135}$ este mai mare cu circa un ordin de mărime decît otrăvirea cu alte produse de fisiune, vom studia procesul de otrăvire cu Xe.

$_{54}Xe^{135}$ apare în reactor fie ca produs intermediar al unui lanţ de dezintegrări radioactive ce porneşte de la produsul de fisiune $_{52}Te^{135}$, fie direct din fisiune

$$_{52}Te^{135} \xrightarrow[2,2\ \text{min}\ 53]{\beta^-} I^{135} \xrightarrow[6,7\ \text{h}]{\beta^-} {}_{54}Xe^{135}$$

Datorită diferenţei mari dintre perioada de înjumătăţire a Te (2,2′) şi cea a I (6,7 h) se poate considera că $_{53}I^{135}$ apare direct din fisiune.

Făcînd notaţiile:

$I(t)$ — densitatea nucleelor de iod, nuclee/cm³;

$X(t)$ — densitatea nucleelor de xenon, nuclee/cm³;

$\mu_I$ — randamentul de apariţie a iodului din fisiune;

$\Sigma_f$ secţiunea de fisiune macroscopică a combustibilului nuclear, cm⁻¹;

$\Phi(t)$ — fluxul de neutroni termici, neutroni/cm². s;

$\lambda_x$ — constanta de dezintegrare a Xe, s⁻¹;

$\lambda_I$ — constanta de dezintegrare a I, s⁻¹;

$\sigma_{cx}$ — secţiunea microscopică de captură a Xe;

$\sigma_{cI}$ — secţiunea microscopică de captură a I;

$\mu_x$ — randamentul de apariţie a Xe din fisiune,

evoluţia Xe în reactor va fi dată de ecuaţia:

$$\frac{dX(t)}{dt} = \lambda_I I(t) + \mu \Sigma_f \Phi(t) - \lambda_x X(t) - \sigma_{cx} X(t) \Phi(t), \quad (1)$$

în care I $(t)$ se determină din ecuaţia

$$\frac{dI(t)}{dt} = \mu_I \Sigma_f \Phi(t) - \lambda_I I(t) - \sigma_{cI} I(t) \Phi(t). \quad (2)$$

Termenul $\sigma_{cI}$. $I(t)$. $\Phi(t)$ din ecuaţia (2) se poate neglija faţă de termenul $\lambda_I I(t)$, deoarece produsul $\sigma_{cI}$. $\Phi$ este mult mai mic decît $\lambda_I$.

Cunoscînd că fluxul de neutroni $\Phi$ este direct proporţional cu puterea $P$ a reactorului şi că excesul de reactivitate necesar pentru a acoperi otrăvirea cu Xe trebuie să fie direct proporţional cu $X(t)$, pentru un caz dat se pot reduce ecuaţiile (1) şi (2) la forma [1] relaţiilor:

$$\frac{dX(t)}{dt} + \lambda_x X(t) = \lambda_I I(t) + K_2 P [1 - a X(t)] \quad (3)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} + \lambda_I I(t) = K_1 P, \quad (4)$$

cărora li se va adăuga ecuaţia excesului de reactivitate necesar pentru a acoperi otrăvirea cu Xe

$$R = K_3 X(t). \quad (5)$$

Constantele $K_1, K_2, K_3, \lambda_x, \lambda_I$ şi $a$ au rezultat din particularizarea ecuaţiilor anterioare la reactorul studiat. Aceste ecuaţii pot fi modelate analogic după schema din figura 1.

Condiţiile iniţiale ale sistemului sînt date de starea fizică iniţială a reactorului. În cazul pornirii reactorului după o staţionare de lungă durată,

$$X(o) = 0 \quad (6)$$

$$I(o) = 0 \quad (7)$$

$$P = P(t) \quad (8)$$

$P$ = în funcţie de cerere.

Constantele reale ale circuitului analogic vor fi determinate corect în funcţie de constantele ecuaţiilor (3), (4), (5) şi de scara de modelare şi de timp a montajului.

Circuitul primeşte ca semnal de intrare $P(t)$ şi permite înregistrarea mărimilor $X(t)$, $I(t)$ şi $R$ în punctele notate cu 1, 2 şi respectiv 3.

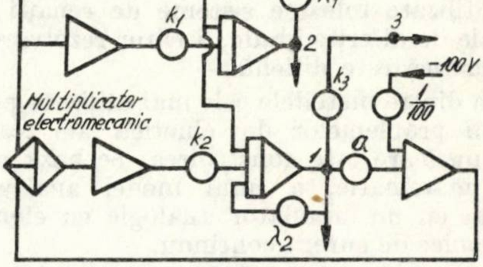


Fig. 1

Rezultatele unui studiu calitativ al otrăvirii cu Xe a unui reactor, efectuat prin metoda analogică, conduc la o diagramă a otrăvirii de forma celei din figura 2. În abscisă se trece timpul iar în ordonată excesul de reactivitate necesar compensării otrăvirii cu Xe.

S-a considerat că reactorul funcţionează la putere constantă un timp suficient de lung, $t\infty$, astfel încît otrăvirea să tindă spre o valoare constantă $R\,(t\infty)$, iar apoi reactorul este oprit.

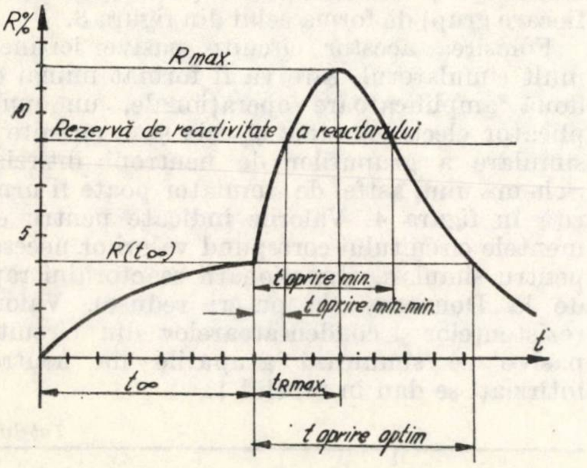



Fig. 2

Se observă că, în decursul funcţionării, otrăvirea tinde către o constantă, iar panta curbei $R = R(t)$ tinde către 0; după oprirea reactorului, otrăvirea va creşte mult peste valoarea $R(t\infty)$, întrecînd rezerva de reactivitate maximă a reactorului. Otrăvirea atinge o valoare maximă $R_{max}$ la timpul $t\infty + t_{R_{max}}$ şi apoi scade tinzînd către 0. Pe porţiunea în care curba $R(t)$ este deasupra rezervei de reactivitate maximă a reactorului $R_{max.react.}$, reactorul va fi incapabil să mai pornească. Modelarea cantitativă a unui anumit proces va indica valorile reale ale timpilor $t_{\infty}$ şi $t_{R_{max}}$ şi a reactivităţii $R_{max}$, dînd implicit timpii $t_{oprire\,min.}$ şi $t_{oprire\,min.min}$.

Timpul de oprire optim al reactorului va rezulta la intersecţia curbei $R(T)$ cu dreapta $R = T\,(t\infty)$. Problema otrăvirii cu $_{68}Sm^{149}$ poate fi tratată în mod similar.

## Modelarea analogică a proceselor cinetice cu constante de timp mici specifice reactoarelor nucleare

Funcţionarea în timp a reactoarelor nucleare nu este un proces staţionar, ci o sumă de procese tranzitorii. Comportarea unui reactor nuclear în regim tranzitoriu poate fi dedusă pe baza rezolvării în spaţiu şi în timp a ecuaţiei difuziei în regim tranzitoriu [4]:

$$D\Delta^2\,\Phi\,(r^-, t) - \Sigma_a\,\Phi\,(r^-, t) + S\,(r^-, t) = = \frac{1}{v}\frac{\partial \Phi}{\partial t} = \frac{\partial n}{\partial t} \tag{9}$$

în care

$\Phi$ este fluxul de neutroni, neutr./cm².s;

$\Sigma_a$ — secţiunea macroscopică de absorbţie, $cm^{-1}$;

$S$ — sursa de neutroni;

$v$ — viteza medie a neutronilor, cm/s;

$n$ — densitatea neutronilor în reactor, neutr./ /cm³;

$D$ — constanta de difuzie a reactorului, $cm^{-1}$.

În funcţie de modul în care se pune problema se obţin diferite tipuri de ecuaţii diferenţiale, din care apoi se extrage funcţia de transfer a reactorului ce trebuie modelat. Pentru rezolvarea ecuaţiei (9) se admite ipoteza simplificatoare că funcţia fluxului $\Phi\,(r, t)$ se poate scrie ca un produs de funcţii

$$\Phi\,(r, t) = \Phi\,(r) \times \Phi\,(t), \tag{10}$$

în care $\Phi\,(r)$ este o funcţie de poziţie şi $\Phi(t)$ o funcţie de timp.

Studiile făcute pe reactoare şi pe rezolvările matematice existente duc la concluzia că distribuţia spaţială a fluxului în regim tranzitoriu $\Phi(r)$ este de acelaşi tip cu distribuţia fluxului în cazul difuziei staţionare, iar funcţia de timp $\Phi(t)$ este o funcţie exponenţială în care constantele de timp pot varia în plaje foarte largi de valori.

Pentru alegerea constantelor de timp ale instalaţiilor de protecţie, comandă şi control ale reactoarelor nucleare este necesară o bună cunoaştere a proceselor tranzitorii cu constante mici de timp din reactorul studiat.

Regimurile tranzitorii cu constante mici de timp apar în general în urma unor modificări bruşte ale reactivităţii reactorului, modificări ce pot fi determinate de cauze multiple: variaţii de sarcină, variaţii ale regimului de temperaturi, distrugeri mecanice, scăpări de agent primar etc. Urmările imediate ale unor astfel de procese pot duce pînă la distrugerea reactorului cînd sistemele de siguranţă nu acţionează prompt.

Modelarea ecuaţiei (9) sub forma indicată anterior fiind dificilă, se modifică această ecuaţie aducînd-o la forme mai simple, specifice pentru fiecare tip de reactor, forme ce pot fi modelate mai uşor.

## Simulator analogic pentru procesele cinetice din reactoarele nucleare de mică putere cu neutroni rapizi

Pentru reactoare rapide (FBR) termenii din ecuaţia (9) vor fi consideraţi astfel:

$S$ — sursa compusă din neutroni prompţi şi întîrziaţi;

$n$ — densitatea neutronilor din reactor.

Cunoscînd constantele de dezintegrare pentru precursorii neutronilor întîrziaţi, contribuţia fiecărui grup de precursori ai neutronilor întîrziaţi (în prezent sînt cunoscute 6 grupuri) şi ştiind că puterea este proporţională cu numărul de neutroni aflaţi în reactor la un moment

dat, se pot reduce ecuaţiile cinetice ale unui reactor cu neutroni rapizi la forma

$$P = R\,P + \sum_i \lambda_i K_i \qquad (11)$$

$$i = 1 \ldots 6$$

$$\frac{dK_i}{dt} = \alpha_i\, P - \lambda_i\, K_i, \qquad (12)$$

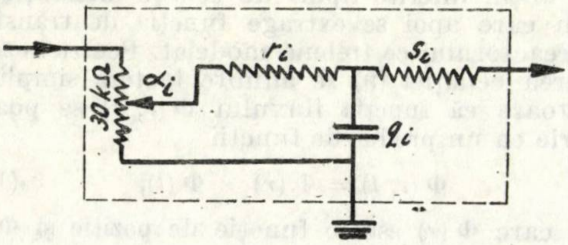



Fig. 3

în care

$P$ este puterea, MW ;
$R$ — reactivitatea, în unităţi naturale de reactivitate ;
$\alpha_i$ — probabilitatea de apariţie a grupului $i$ ;
$\lambda_i$ — constanta de dezintegrare a precursorilor grupului $i$, $s^{-1}$ ;
$K_i$ — contribuţia de putere a grupului $i$, $MW$.

Pentru un caz dat, constantele $K_i$ şi $\alpha_i$ se determină în funcţie de fracţiunea de neutroni întîrziaţi din grupul $i$, $\beta_i$, de densitatea nucleelor precursorilor grupului $i$, $C_i$ [nuclee/cm³], de caracteristicile reactorului şi de scara de modelare şi de timp a montajului.

Aceste ecuaţii nu ţin seamă de coeficientul de temperatură al reactivităţii, deci simulează comportarea reactorului în zone în care efectul de temperatură este neglijabil, adică la puteri termice mici. Pentru simularea ecuaţiilor de mai sus, o schemă completă ar cere două amplificatoare integratoare şi un multiplicator pentru relaţiile matematice ale ecuaţiilor date. De

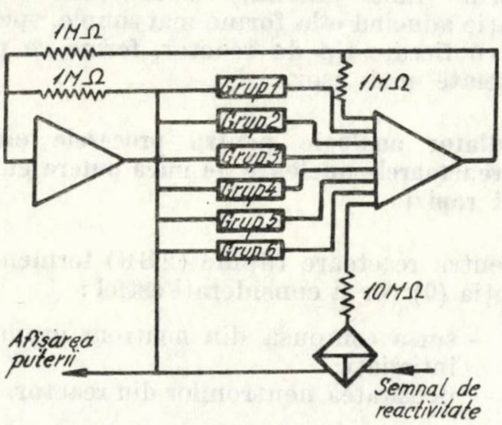



Fig. 4

asemenea, sînt necesare şase amplificatoare operaţionale pentru simularea grupurilor de neutroni întîrziaţi. O asemenea schemă ar fi destul de complexă şi scumpă. Cercetătorii englezi Thomasson şi Drakeford au demonstrat că amplificatoarele operaţionale folosite pentru simularea grupurilor de neutroni întîrziaţi pot fi înlocuite cu nişte circuite pasive formate din rezistenţe şi condensatoare (cîte unul pentru fiecare grup) de forma celui din figura 3.

Folosirea acestor circuite pasive ieftineşte mult simulatorul, care va fi format numai din două amplificatoare operaţionale, un multiplicator electromecanic şi cele şase circuite de simulare a grupurilor de neutroni întîrziaţi. Schema unui astfel de simulator poate fi urmărită în figura 4. Valorile indicate pentru elementele circuitului corespund valorilor necesare pentru simularea funcţionării reactorului rapid de la Dounreay (la puteri reduse). Valorile rezistenţelor şi condensatoarelor din circuitele pasive ce simulează grupurile de neutroni întîrziaţi se dau în tabelul 1.

*Tabelul 1*

| Grup | $\alpha_i$ | $\frac{1}{\lambda_i}$, s | $q_i$, μF | $r_i$, MΩ | $s_i$, MΩ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,041 | 780 | 32 | 4,37 | 5,63 |
| 2 | 0,208 | 31,5 | 13 | 3,00 | 7,00 |
| 3 | 0,185 | 8,7 | 4 | 3,21 | 6,79 |
| 4 | 0,405 | 2,8 | 1,5 | 3,10 | 6,90 |
| 5 | 0,133 | 0,6 | 0,3 | 3,82 | 6,18 |
| 6 | 0,028 | 0,2 | 0,12 | 3,20 | 6,80 |

**Simulator analogic pentru procesele cinetice din reactoarele nucleare de mică putere cu neutroni termici**

O variantă economică, cu precizie mai mică, a simulatorului ecuaţiilor cinetice este cea realizată de firma „Lockheed-Georgia Company" pentru simularea reactorului experimental cu neutroni termici, cu puterea de 10 kWm, cu uraniu îmbogăţit şi moderat cu $H_2O$ [3]. În această variantă ecuaţiile cinetice ale reactorului, considerate pentru un reactor cu neutroni termici, se pun sub forma

$$\frac{dn}{dt} = \frac{n}{l^*}(\rho - \beta) + \sum_1^6 \lambda_i\, C_i \qquad (13)$$

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{n}{l^*}\,\beta_i - \lambda_i\, C_i, \qquad (14)$$

în care

$l^*$ este viaţa medie a neutronilor prompţi, s ;

$$l^* = \frac{l}{k\infty} = \frac{1}{k\infty\, v\, \Sigma_a}$$

$\lambda_i$ — constantele de dezintegrare ale precursorilor grupului $i$ de neutroni întîrziaţi, $s^{-1}$ ;
$C_i$ — densitatea nucleelor precursorilor ;
$n$ — densitatea neutronilor, neutr./cm³ ;
$\beta_i$ — randamentul de apariţie a neutronilor întîrziaţi ai grupului $i$ ;
$\beta$ — fracţiunea totală de neutroni întîrziaţi.

Funcţia de transfer a unui circuit ce simulează acest sistem este de forma

$$G\,(j\omega)=\frac{1}{(j\omega)\left(l^{*}+\sum_{i=1}^{6}\frac{\beta_i}{(j\omega)+\lambda_i}\right)}. \qquad (15)$$

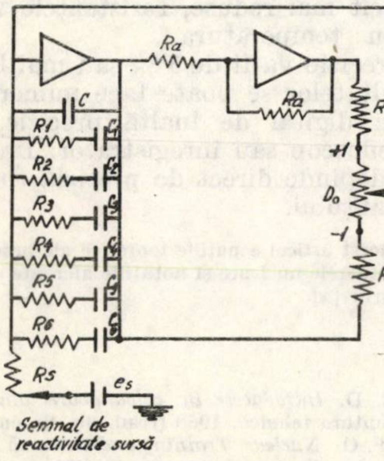



Fig. 5

Punînd funcţia sub această formă, circuitul ce va avea o asemenea funcţie de transfer nu necesită un element de multiplicare.

acest caz nu se ţine seamă de coeficientul de temperatură al reactivităţii, deoarece este vorba de un reactor experimental de mică putere, funcţionînd la o temperatură cvasiconstantă. Fiind vorba de simularea unui reactor cu neutroni termici, în schemă apare şi un element de întîrziere : condensatorul $C$ necesar pentru a lua în consideraţie viaţa medie a neutronilor prompţi. Schema principială a simulatorului de acest tip poate fi urmărită în figura 5.

**Simulator analogic pentru procesele cinetice ale reactoarelor nucleare de putere**

Construirea unui simulator cinetic al reactorului nuclear de putere funcţionînd în sarcină necesită introducerea unor circuite de reacţie care să îndeplinească funcţia coeficientului de temperatură. Funcţia de transfer a acestui circuit va fi modificată în consecinţă :

$$R\,(j\omega)=\frac{G\,(j\omega)}{1+H\,(j\omega)\,G\,(j\omega)}, \qquad (16)$$

în care

$G\,(j\omega)$ este funcţia de transfer nemodificată (15) ;

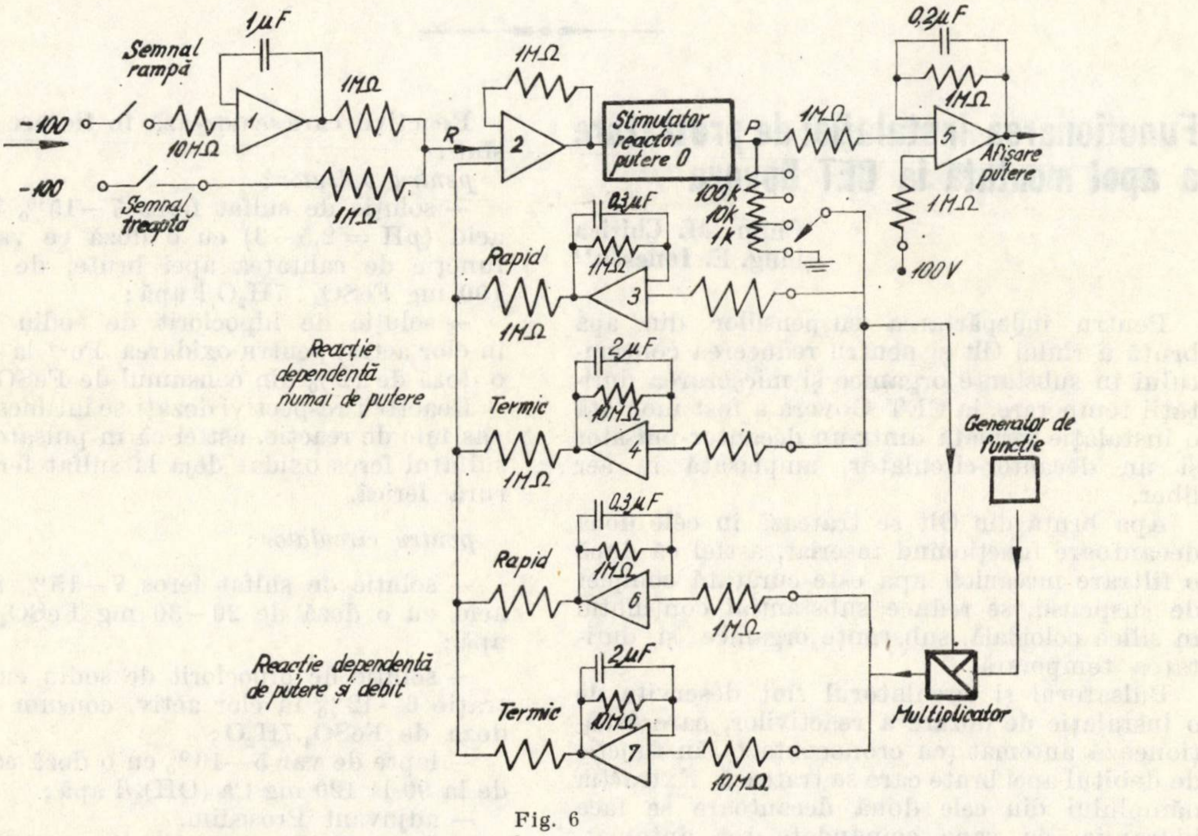



Fig. 6

În varianta de schemă amintită, simularea grupurilor de neutroni întîrziaţi se face cu ajutorul unor circuite de reacţie $R-C$ montate la unul din amplificatoarele operaţionale. Nici în

$H(j\omega)=\dfrac{\alpha k n_0}{Hj\,\omega}$ – funcţie corectivă dependentă de coeficientul de temperatură al reactivităţii ;

$\alpha$ — coeficientul de temperatură al reactivității;

$n_0$ — densitatea de neutroni la puterea nominală;

$k$ — constantă de scară $P_0=k\,n_0$;

$H$ — constantă de material (capacitatea calorică totală a reactorului).

Se observă că funcția de transfer modificată este de tipul funcției de transfer a unui amplificator cu reacție negativă.

Cercetătorul englez F. Storrer a imaginat bucla de reacție ce trebuie adăugată simulatorului cinetic al reactorului de putere zero pentru a simula reactorul în sarcină [2]. Pentru reactoarele cu neutroni rapizi, această reacție este descompusă în două componente corespunzînd contribuției neutronilor termici și a celor rapizi în spectrul total al reactorului. În cazul general această reacție trebuie completată cu un circuit de tip special compus dintr-un generator de funcție cu diode, un multiplicator și două amplificatoare operaționale, circuit care ține seamă de variația coeficientului de temperatură și a capacității calorice totale a reactorului cu puterea și cu debitul de agent de răcire. Schema completă a unui asemenea simulator realizat pentru cazul concret al reactorului de la Dounreay poate fi urmărită în figura 6.

În toate schemele de simulatoare prezentate se va acorda o deosebită atenție calității și clasei de precizie a elementelor componente ale circuitelor: condensatoarele vor avea pierderile prin scăpări cît mai reduse, rezistențele vor fi invariante cu temperatura.

Clasa de precizie va fi de 1% sau mai bună. Afișarea rezultatelor se poate face numeric cu un voltmetru digital de înaltă precizie, sau grafic, pe osciloscop sau înregistrator. Precizia simulării va depinde direct de precizia tuturor elementelor lanțului.

*Observație.* În acest articol ecuațiile teoretice ale proceselor dinamice din reactoarele nucleare și notațiile aferente acestor ecuații sînt conform [4].

**Bibliografie**


[1] Truitt, E. D. *Introducere în calculatoare analogice.* București, Editura tehnică, 1968 (trad. din lb. engleză).

[2] Joklik, F. O. *Nuclear Training and Research Equipment.* În: Nuclear Energy, iulie-august, 1961.

[3] Gamble, R. L. *Manual of Reactor Experiments for the Lockheed 10 kW Research and Training Reactor.* Lockheed Georgia Nuclear Laboratory.

[4] Glasstone, S. *Nuclear Reactor Engineering.* D. Van Nostrand Company Inc., New York, 1967.


**(Articol intrat în redacție la 10 noiembrie 1971)**

# Funcționarea instalației de pretratare a apei montată la CET Govora

Chim. **M. Chirica**
și ing. **E. Ionescu***)

Pentru îndepărtarea suspensiilor din apa brută a rîului Olt și pentru reducerea conținutului în substanțe organice și micșorarea durității temporare, la CET Govora a fost montată o instalație formată dintr-un decantor-pulsator și un decantor-circulator, amplasată în aer liber.

Apa brută din Olt se tratează în cele două decantoare funcționînd înseriat, astfel că după o filtrare mecanică apa este curățată complet de suspensii, se reduce substanțial conținutul în silice coloidală, substanțe organice și duritatea temporară.

Pulsatorul și circulatorul sînt deservite de o instalație de dozare a reactivilor, care funcționează automat (cu cronocontact), în funcție de debitul apei brute care se tratează. Extracția nămolului din cele două decantoare se face hidraulic, cu vane comandate tot automat, în funcție de debitul apei brute.

*) Mihai Chirica este chimist la IRME; Elena Ionescu este inginer la CET Govora.

Reactivii care se dozează în fiecare decantor sînt:

*pentru pulsator*:

— soluție de sulfat feros 7—15% în mediu acid ($pH = 2{,}5-3$) cu o doză ce variază, în funcție de calitatea apei brute, de la 60 la 100 mg $FeSO_4 \cdot 7H_2O$/l apă;

— soluție de hipoclorit de sodiu (6—12% în clor activ) pentru oxidarea $Fe^{2+}$ la $Fe^{3+}$, cu o doză de 12% din consumul de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$.

Reactivii respectivi dozați se întîlnesc într-un vas mic de reacție, astfel că în pulsator ajunge sulfatul feros oxidat deja la sulfat feric și clorură ferică.

*pentru circulator*:

— soluție de sulfat feros 7—15% în mediu acid cu o doză de 20—30 mg $FeSO_4 \cdot 7H_2O$/l apă;

— soluție de hipoclorit de sodiu cu concentrație 6—12% în clor activ, consum 12% din doza de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$;

— lapte de var 5—10% cu o doză ce variază de la 90 la 120 mg $Ca(OH)_2$/l apă;

— adjuvant Prosedim.

Fixarea dozelor de sulfat feros și hipoclorit pentru instalație se face pe baza probelor de laborator, care se execută cu aparatura destinată acestui scop.

Doza de lapte de var se stabileşte în funcţie de alcalinitatea apei ce se tratează, utilizînd relaţia :

$$\text{mg/l Ca (OH)}_2 = m.50.0,92,$$

în care $m$ (exprimat în mval/l) reprezintă alcalinitatea apei după pulsator.

Pentru dozarea reactivilor — sulfat feros, hipoclorit, Prosedim—instalaţia este prevăzută cu pompe dozatoare simplex şi duplex, comandate de cronocontact.

Dozarea laptelui de var se face automat, utilizîndu-se dozatorul tip $C_{110}$ de producţie franceză.

**Decantorul-pulsator**

Decantorul-pulsator are dimensiunile de 13,3m /15 m şi poate limpezi un debit de 600 t/h apă brută.

Hidroliza sulfatului feric sau a clorurii ferice, precum şi flocularea însăşi au loc în mediu acid ($p$H = 6,5).

Caracteristic pentru decantorul-pulsator este faptul că apa brută în care s-a dozat floculantul trebuie să traverseze un strat de nămol aflat în suspensie. Stratul de nămol este supus unei mişcări de oscilaţii pe verticală, care favorizează aglomerarea flocoanelor şi decantarea lor. Înălţimea acestui strat de nămol este de circa 1 m.

Acţiunea de limpezire a apei, prin traversarea de jos în sus a unui strat de nămol, se explică uşor, întrucît, crescînd concentraţia materiilor în suspensie electric neutre, deja floculate, se apropie particulele capabile să se aglomereze sub acţiunea forţei de gravitaţie (particulele mari de nămol tind să apropie, datorită masei lor, particulele uşoare în curs de floculare). Nămolul nu este antrenat cu apa decantată, cu condiţia ca viteza ascensională a apei să fie mai mică decît viteza de cădere a nămolului.

Acest sistem de tratare — pulsatoriu — comportă următoarele avantaje :

— nu are aparataj mecanic în contact cu apa ;

— reducere mare a conţinutului materiilor în suspensie şi coloidale, imposibil de atins prin alte procedee ;

— concentraţie ridicată a nămolului, pierderi mici de apă, imposibilitatea secătuirii stratului de nămol datorită sistemului de alimentare a concentratoarelor ;

— simplitatea exploatării ;

— continuitatea obţinerii calităţii apei datorită masei importante a patului de nămol.

Constructiv, decantorul-pulsator este format dintr-un bazin cu fundul plat, care are la bază o serie de ţevi perforate permiţînd introducerea apei brute uniform pe toată suprafaţa decantorului . La partea superioară este dispusă o reţea de ţevi perforate care colectează apa limpezită.

Apa brută, împreună cu reactivii de floculare (sulfat feros oxidat cu hipoclorit de sodiu), este introdusă în clopotul $C$ (fig. 1), care comunică cu colectorul inferior al decantorului şi aspirarea continuă a aerului din clopot cu o pompă de vid ($G$).

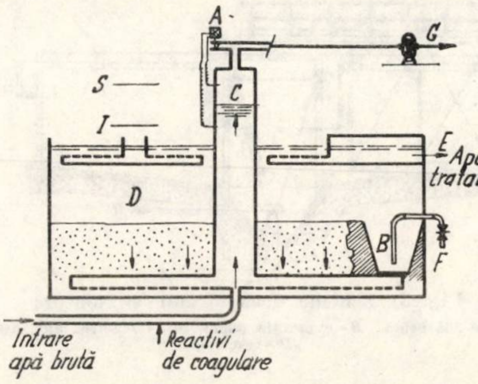



Fig. 1. Schema de funcţionare a pulsatorului (timp 1).

Debitul de aer aspirat de pompă ($G$) fiind inferior debitului apei brute, o parte din aceasta este stocată în clopot, unde nivelul se ridică mereu, iar altă parte continuă alimentarea colectorului inferior al pulsatorului. Cînd nivelul apei în clopot atinge o anumită valoare, reglată între 0,60 şi 1 m, un dispozitiv de detectare a nivelului comandă deschiderea bruscă a vanei ($A$) de punere în comunicare a clopotului cu atmosfera. Apoi apa din clopot pătrunde în decantor ($D$), mărind viteza de ascensiune a apei şi imprimînd stratului de nămol o mişcare de jos în sus (fig. 2). Atunci cînd nivelul apei în clopot ajunge la limita inferioară fixată, are loc închiderea vanei $A$ şi se aspiră din nou apă în clopot. Stratul de nămol are o mişcare de sus în jos, uşurîndu-se formarea şi decantarea flocoanelor.

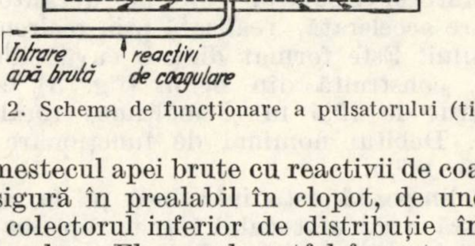



Fig. 2. Schema de funcţionare a pulsatorului (timp 2).

Amestecul apei brute cu reactivii de coagulare se asigură în prealabil în clopot, de unde iese prin colectorul inferior de distribuţie în zona de floculare. Flocoanele astfel formate pătrund apoi cu apa în patul de nămol, care este traversat într-un mod perfect egal pe toată suprafaţa sa.

Această alimentare discontinuă și uniformă a spațiului de floculare asigură omogenitatea patului, care se găsește animat de mișcări alternative de jos în sus, în timpul golirii clopotului, și de sus în jos în perioada de calm care o succede.

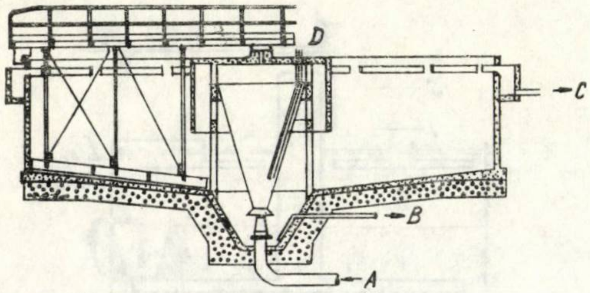



Fig. 3. Schema decantorului circulator:
*A* – intrare apă brută; *B* – extracția nămolului; *C* – ieșirea apei decantate; *D* – reactivii.

Din punctul de vedere al tratării, acest strat de nămol omogen și concentrat are o dublă acțiune:

— aglomerează flocoanele nou formate;

— aglomerează flocoanele de materii în suspensie și de substanțe coloidale.

Stratul de nămol, datorită concentrației și grosimii sale, poate fi comparat cu un filtru perfect.

Datorită impurităților din apa brută și reactivilor de floculare, nivelul stratului de nămol tinde să crească continuu. Cînd acesta atinge o anumită valoare, excesul de nămol este evacuat în niște cuve cu pereți înclinați (*B*), unde se concentrează. Evacuarea nămolului din cuve se face intermitent, cu ajutorul unor vane automate, comandate de un ,,minutar''—cronocontact.

Un sistem de securitate protejează pompele de vid împotriva pătrunderii apei în cazul defectării vanei care face legătura clopotului cu atmosfera.

**Decantorul-circulator**

Apa limpezită în decantorul-pulsator trece prin cădere liberă în decantorul-circulator, unde are loc reducerea durității temporare și îndepărtarea mai avansată a substanțelor organice și a silicei coloidale.

Decantorul-circulator este un decantor cu floculare accelerată, realizată prin recircularea nămolului. Este format dintr-o cuvă cilindroconică, construită din beton (fig. 3), avînd diametrul de 12,5 m și înălțimea totală de 3,5 m. Debitul nominal de funcționare este de 490 $m^3/h$.

Apa limpezită este introdusă pe la partea inferioară a circulatorului într-un ejector care asigură amestecul intim al apei cu reactivii și aspiră o parte din flocoanele și precipitatele deja formate în stratul de nămol, introducîndu-le în conul de reacție.

Reactivii care se dozează în circulator sînt:

— sulfatul feros amestecat cu hipoclorit de sodiu pentru floculare;

— laptele de var pentru decarbonatare;

— adjuvantul Prosedim, atunci cînd nămolul decantează mai greu.

Acești reactivi se dozează în conul de reacție.

Recircularea nămolului în conul de reacție înseamnă, de fapt, introducerea unor germeni de floculare și precipitare care accelerează reacțiile.

Flocularea și formarea precipitatelor de carbonați se amorsează în difuzorul conic și continuă pe măsură ce apa urcă în aparat. Acest difuzor conic este astfel construit, încît să facă o reducere treptată a vitezei apei, fără turbulențe. La ieșirea din coloana centrală, flocularea este totală datorită aportului important al nămolului recirculat de ejector.

Ajuns în zona de decantare, nămolul coboară rapid spre baza aparatului, unde se găsește patul de nămol, iar apa limpezită decarbonatată se ridică la suprafață.

Nămolul depus pe fundul circulatorului este raclat în cuva de nămol aflată în centrul aparatului.

Înălțimea stratului de nămol din cuvă trebuie să fie aproape constantă, iar excesul de nămol se evacuează intermitent, printr-o țeavă de extracție, cu o vană automată comandată de un cronocontact.

Apa limpezită și decarbonatată este colectată printr-un colector circular exterior aparatului.

Avantajele circulatorului față de alte sisteme:

— flocularea și recircularea nămolului se fac fără nici un aparat mecanic susceptibil de defectare;

— utilizarea reactivilor cu maximă eficacitate și omogenizarea apei conținute în aparat;

— repartiția apei brute și colectarea apei tratate se fac perfect axial, asigurînd o funcționare uniformă pe toată suprafața aparatului;

— o calitate constantă a apei, chiar la variațiile în compoziție a apei brute, datorită unui volum important de nămol care joacă rolul de regulator;

— posibilitatea funcționării la debite variabile fără nici un reglaj, principiul recirculării prin ejector asigurînd o concentrație în nămol practic constantă într-o largă zonă de variație a debitului.

**Indicii chimici realizați la funcționarea sistemului pulsator-circulator de la CET Govora**

Performanțele de funcționare a instalației sînt legate de calitatea apei ce urmează a fi tratată.

Determinările efectuate pentru sursa de apă de la CET Govora arată că apa rîului Olt se caracterizează prin variații bruște ale indicilor chimici, conținut mare de suspensii, silice coloidală și substanțe organice (fig. 4 și 6).

În timpul exploatării instalației de pretratare, apa brută a avut următorii indici chimici :

$D_t$ = 1,8 — 3,8 mval/l
$Na^+$ = 0,7 — 0,8 mval/l
*S.T.* = 2,5 — 4,6 mval/l
$SO_4^{2-}$ = 0,7 — 0,8 mval/l
$Cl^-$ = 0,5 — 1,2 mval/l
$HCO_3^-$ = 1,3 — 2,6 mval/l
*S.T.* = 2,5 — 4,6 mval/l

Substanțe organice (consum $KMnO_4$) = 40 — 120 mg/l ; $SiO_2$ coloidal = 1 — 75 mg/l.

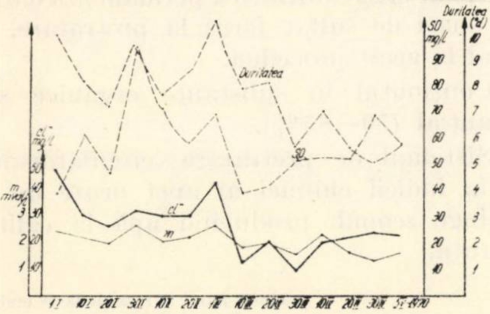


Fig. 4. Variația în timp a indicilor chimici la apa brută : — — — duritatea ; ——— alcalinitatea ; —·—· conținutul în substanțe organice, S.O. ; ——— cloruri.

Acest lucru se justifică prin doza mare de sulfat feros la pulsator și circulator (100 —

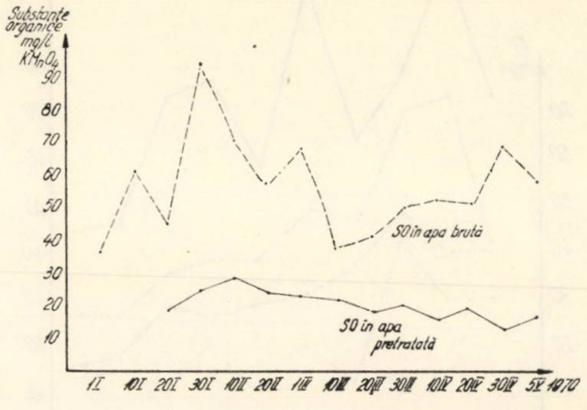



Fig. 5. Gradul de reducere a substanțelor organice prin tratarea apei în pulsator și circulator.

120 mg/l), ca și prin adăugarea de acid clorhidric în soluția de sulfat feros la preparare, pentru menținerea *p*H-ului optim.

Astfel, din valorile reprezentate grafic în figura 7 se constată, de exemplu, că pe data de 30 martie 1970 sulfații și clorurile au fost :

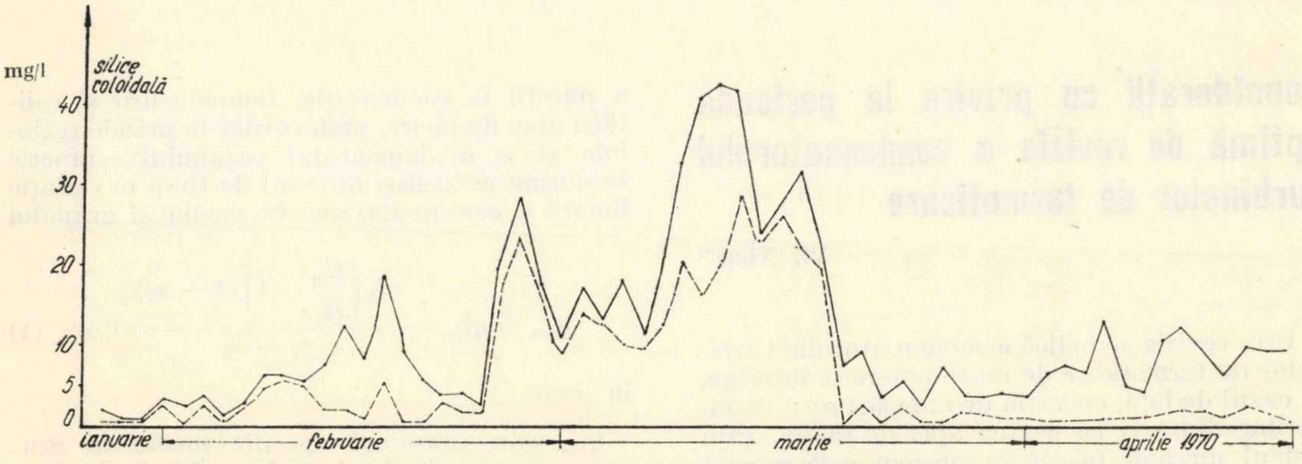



Fig. 6. Gradul de reducere a silicei coloidale (S.C.) prin tratarea apei în pulsator și circulator: ——— S.C. în apa brută; — — — S.C. în apa pretratată.

Prin tratarea apei în pulsator și circulator se reduce conținutul în substanțe organice (exprimate în consum $KMnO_4$) între 50 și 85%, raportat la apa brută (fig. 5).

Un rol important al instalației este acela de a reduce silicea coloidală, și anume la 0,2 mg/l. După cum rezultă din graficul prezentat în figura 6, silicea coloidală depășește uneori această valoare în apa tratată. Trebuie menționat că furnizorul a garantat obținerea acestei valori atunci cînd în apa brută silicea coloidală nu este mai mare de 20 mg/l.

Instalația de pretratare reduce duritatea temporară la 0,4 — 0,7 mval/l. Obținerea acestor indici are loc prin dozarea de reactivi chimici care determină însă creșterea conținutului de cloruri și sulfați în apa tratată (fig. 7).

la apa brută
$SO_4^{2-}$ = 28 mg/l
$Cl^-$ = 10 mg/l
la apa pretratată
$SO_4^{2-}$ = 58 mg/l
$Cl^-$ = 38 mg/l

Rezultă că sulfații au crescut cu 30 mg/l, iar clorurile cu 28 mg/l, solicitînd capacitatea instalației de demineralizare. În urma experimentărilor de laborator se constată că dozele de reactivi și indicii chimici obținuți la apa pretratată sînt influențați de calitatea apei brute a rîului Olt și în mică măsură și de sistemul de tratare (pulsator-circulator).

**Concluzii**

— Consumul de sulfat feros, respectiv hipoclorit de sodiu, este mare (60 — 90 mg $FeSO_4$/l), iar costul apei pretratate este ridicat ; aceste con-

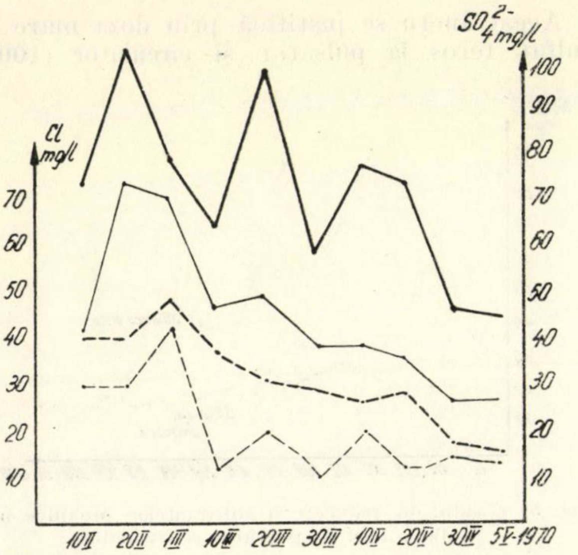


Fig. 7. Reprezentarea grafică a variației indicilor $SO_4^{2-}$ și $Cl^-$ în apa brută și în apa pretratată: ——— $SO_4^{2-}$ în apa pretratată; ▬ ▬ ▬ $SO_4^{2-}$ în apa brută; ——— $Cl^-$ în apa pretratată; - - - $Cl^-$ în apa brută.

sumuri sînt determinate de calitatea apei brute din Olt, conform rezultatelor experimentărilor de laborator.

— Conținutul în cloruri și sulfați al apei pretratate se dublează, solicitînd instalația de demineralizare.

— Instalația de pretratare reduce conținutul în silice coloidală numai atunci cînd apa brută are sub 20 mg/l silice coloidală.

— Duritatea temporară scade la 0,6—0,8 mval/l, dar crește duritatea permanentă datorită dozei mari de sulfat feros la pretratare, fapt normal la acest procedeu.

— Conținutul în substanțe organice scade substanțial (50—85%).

— Sistemul de pretratare (circulator-pulsator), la indicii chimici ai apei brute de Olt, își atinge scopul, producînd apă la calitatea garantată.

(Articol intrat în redacție la 28 iunie 1971)

# Considerații cu privire la perioada optimă de revizie a condensatorului turbinelor de termoficare

Vl. Nicu *)

Prin revizia periodică a condensatorului turbinelor de termoficare de mare putere se înțelege, în cazul de față, operația de îndepărtare a depunerilor din țevi pe partea apei de răcire. Procedeul mecanic folosit în prezent este asociat unei instalații speciale de maximă eficiență (instalația „Woma"), care constă în supunerea interiorului țevii unui jet de apă la 400—500 kgf/cm², care înlătură total orice depunere sau crustă oricît ar fi de dure. După repunerea în funcțiune a condensatorului se constată restabilirea vidului la valori nominale.

Problema care se pune în mod acut este de a preciza perioadele optime la care trebuie revizuit condensatorul turbinelor de termoficare, cunoscînd că partea în condensație a acestor agregate depinde de gradul de termoficare al grupului respectiv.

Admițînd, între două revizii succesive ale condensatorului, o variație liniară a temperaturii la buraj — ceea ce implică menținerea constantă a puterii în condensație, temperaturii și calității apei de răcire, prelevărilor la prizele reglabile și a randamentului cazanului — practic se obține pe același interval de timp o variație liniară a consumului specific mediu al grupului

$$q_{Em} = q_{Em}^0 + \frac{q_{CE}^0\left(\dfrac{H_0}{H_1} - 1\right)(1 - \alpha_T)}{\tau_1 - \tau_0} \cdot \tau, \qquad (1)$$

în care

$q_{Em}$ este consumul specific mediu al grupului la timpul $\tau$ (zile) după curățirea condensatorului;

$q_{Em}^0$ — consumul specific mediu în condiții inițiale (la timpul $\tau = 0$);

$\alpha_T$ — gradul de termoficare (raportul între puterea de termoficare și puterea totală a grupului);

$q_{CE}^0$ — consumul specific în condensație în condiții inițiale;

$H_0$, $H_1$ — destinderea utilă în turbină, în condiții nominale (cu condensatorul curat), la timpul $\tau_0$ și după timpul $\tau_1$;

$\tau_1 - \tau_0$ — intervalul de timp finit luat în considerare la deducerea coeficientului de variație liniară a consumului specific;

$\tau$ — timpul de funcționare scurs de la curățirea condensatorului.

*) Ing. Vladimir Nicu este șeful serviciului de concepție la IEC Ploiești.

Determinarea perioadei optime la care trebuie revizuit condensatorul depinde de mai mulţi factori. La rîndul lor, unii dintre aceşti factori depind de centrala în care funcţionează turbina respectivă, iar ceilalţi depind de sistemul de centrale interconectate.

În lucrarea de faţă se propune determinarea perioadei optime de revizie a condensatorului unei turbine dintr-o centrală de termoficare economică de mare putere, care funcţionează practic în regim de bază, adică fără goluri de sarcină ce s-ar preta la curăţiri de condensatoare.

Oprirea grupului de termoficare din centrală presupune deci preluarea puterii de către rezerva din sistem în condiţii mai puţin economice, deoarece se produc, inevitabil, următoarele fenomene :

— supraconsumuri de combustibil datorită consumurilor specifice înrăutăţite şi pierderilor de pornire-oprire ;

— creşterea pierderilor în reţelele electrice ca urmare a abaterii circulaţiei de putere de la condiţiile iniţiale.

Se pot scrie următoarele relaţii care rezultă din raportarea mărimilor la puterea grupului oprit :

$$q_{sr} = 1(+p)\cdot q_s$$

$$p = \frac{\Delta P}{P_0} = \frac{1}{|P_0}\left(\frac{S_0+\Delta S}{U_m}\right)^2 \cdot R_E, \qquad (2)$$

în care

$q_{sr}$ este consumul specific al grupurilor de rezervă din sistem pornite, raportat la puterea grupului oprit ;

$P_0$ — puterea grupului oprit în vederea reviziei condensatorului ;

$S_0$ — puterea aparentă corespunzătoare puterii active $P_0$ ;

$\Delta S$ — sporul de putere aparentă necesară acoperirii pierderilor electrice din reţele, ca urmare a abaterii circulaţiei de la condiţiile iniţiale ;

$U_m$ — tensiunea de bază adoptată ;

$R_E$ — rezistenţa electrică echivalentă, aferentă circulaţiei puterii $S_0 + \Delta S$, redusă la tensiunea de bază ;

$q_s$ — consumul specific al grupurilor de rezervă din sistem pornite pentru a prelua sarcina $P_0 + \Delta P$ ;

$\Delta P$ — creşterea pierderilor active în reţele.

Odată cu oprirea unui grup de termoficare, celelalte grupuri îşi încarcă prizele reglabile la maximum, ceea ce corespunde unei creşteri a gradului de termoficare $\alpha_T$. În acest caz se obţine următoarea relaţie cu mărimile raportate la puterea $P_0$ :

$$q = (n-1)\ (q^0_{CET}\cdot\tau + q_{CET}\cdot\tau_{rev.}), \qquad (3)$$

în care

$q$ este relaţia consum specific-timp ;

$q^0_{CET}$ — consumul specific mediu al centralei de termoficare în perioada $\tau$ (cu toate grupurile de termoficare în funcţiune) ;

$q_{CET}$ — consumul specific al centralei de termoficare în perioada reviziei condensatorului unui grup ;

$\tau_{rev}$ — timpul programat de revizie a condensatorului ;

$n$ — raportul între puterea centralei de termoficare şi puterea grupului oprit pentru curăţirea condensatorului.

În urma opririi unui grup pentru revizia condensatorului şi după repornirea acestuia, au loc pierderi de pornire-oprire, care, raportate la $P_0$, capătă aspectul :

$$\Delta q_{porn.} = \frac{\Delta B_{porn.}}{24\cdot P_0}. \qquad (4)$$

Între două revizii succesive ale condensatorului, relaţia consum specific-timp a grupului respectiv este :

$$q' = \int_0^\tau\left(q^0_{Em} + \frac{q^0_{CE}\left(\frac{H_0}{H_1}-1\right)(1-\alpha_T)}{\tau_1-\tau_0}\,\tau\right)d\tau =$$

$$= q^0_{Em}\cdot\tau + \frac{q^0_{CE}\left(\frac{H_0}{H_1}-1\right)(1-\alpha_T)}{\tau_1-\tau_0}\cdot\frac{\tau^2}{2}. \qquad (5)$$

Energia electrică produsă de-a lungul perioadei de funcţionare şi de revizie a condensatorului, raportată la $P_0$, este

$$e = n\,(\tau + \tau_{rev}) + p\cdot\tau_{rev}. \qquad (6)$$

Adoptînd notaţiile simplificate

$$\frac{q^0_{CE}\left(\frac{H_0}{H_1}-1\right)(1-\alpha_T)}{\tau_1-\tau_0} = M$$

$$q^0_{Em} + (n-1)\,q^0_{CET} = N \qquad (7)$$

$$(1+p)\,q_s\cdot\tau_{rev.} + (n-1)\,q_{CET}\cdot\tau_{rev.} + \Delta q_{porn.} = P,$$

pe baza relaţiilor (2), (3), (4), (5) şi (6) se obţine expresia unui consum specific de calcul a cărui optimizare permite obţinerea intervalului optim între două revizii succesive ale condensatorului :

$$q_{calcul} = \frac{M\cdot\tau^2 + 2.N.\tau + 2P}{2\,[n(\tau+\tau_{rev}) + p\cdot\tau_{rev}]}. \qquad (8)$$

Anulînd derivata întîi a lui (8) în raport cu $\tau$, se obţine ecuaţia de gradul doi :

$$M.n.\tau^2 + 2M\,(n+p).\tau_{rev}\cdot\tau + 2N\,(n+p)\cdot\tau_{rev} -$$
$$- 2n\,P = 0,$$

a cărei soluție pozitivă reprezintă perioada optimă la care este eficientă trecerea în revizie a condensatorului

$$\tau_{opt.} = \frac{n+p}{n}\tau_{rev.} +$$

$$+\sqrt{\left(\frac{n+p}{n}\right)^2 \cdot \tau^2_{rev.} - \frac{2N(n+p)\tau_{rev.} - 2nP}{M\cdot n}} . \quad (9)$$

Examinînd relația (9) se constată că, deoarece $p \ll n$, influența lui $p$ asupra perioadei optime de funcționare este neînsemnată, putîndu-se neglija în unele cazuri. Dacă programarea reviziei condensatorului ar avea loc în golurile de sarcină, pornirea grupurilor de rezervă din sistem nu ar mai fi necesară. În acest caz

$$P = P' = (n-1)\ q_{CET}\cdot \tau_{rev.} + \Delta q'_{porn.}$$

$$\Delta q'_{porn.} < \Delta q_{porn.},$$

respectiv (neglijînd $p$) se obține un alt timp optim între două revizii succesive ale condensatorului :

$$\tau'_{opt} = -\tau_{rev.} + \sqrt{\tau^2_{rev.} - \frac{2\,N\,n\,\tau_{rev.} - 2n\,P'}{M\cdot n}} .$$

**Exemplu numeric**

Se dau parametrii :

$q^0_{CE} = 2\,630$ kcal/kWh (incluzînd randamentul cazanului) ;

$H_0 = 352$ kcal/kg (la $\tau_0 = 0$) ;

$H_1 = 334$ kcal/kg (la $\tau_1 = 35$ zile) ;

$\alpha^0_T = 0{,}7$ ;

$\alpha_T = 0{,}85$ ;

$n = 4$ ;

$$q_{CET} \approx q^0_{CE} - \alpha_T\,(q^0_{CE} - q_{TE}) = 2\,630 - 0{,}85\ (2\,630 - 960) =$$

$$= 1\,210 \text{ kcal/kWh} ;$$

$p \approx 5/50 = 0{,}1$ (valoare aproximată) ;

$q_s = 4\,500$ kcal/kWh ;

$$q^0_{CET} = q^0_{CE} - \alpha^0_T\ (q^0_{CE} - q_{TE}) = 2\,630 - 0{,}7\ (2\,630 - 960) =$$

$$= 1\,460 \text{ kcal/kWh} ;$$

$$\Delta q_{porn.} = \frac{600\cdot 10^6}{24\cdot 50\,000} = 500\left[\frac{\text{kcal. zi}}{\text{kWh}}\right];$$

$\tau_{rev.} = 2$ zile.

Cu ajutorul (7) se obțin coeficienții respectivi :

$$M = \frac{2\,630\left(\frac{352}{334} - 1\right)(1 - 0{,}7)}{35} = 1{,}25 \text{ [kcal/kWh.zi]}$$

$$N = 1\,460 + (4-1)\cdot 1\,460 = 5\,840 \text{ [kcal/kWh]}$$

$$P = (1 + 0{,}1)\ 4\,500\cdot 2 + (4 - 1)\cdot 1\,210.2 + 500 =$$

$$+ 17\,120\left[\frac{\text{kcal. zi}}{\text{kWh}}\right].$$

Expresia consumului specific de calcul este

$$q_{calcul} = \frac{1{,}25\cdot \tau^2 + 11\,680\cdot \tau + 34\,240}{8\cdot\tau + 16{,}4},$$

a cărei optimizare furnizează

$$\tau_{opt} = -\frac{4+0{,}1}{4}\,2 +$$

$$+\sqrt{\left(\frac{4+0{,}1}{4}\right)^2 \cdot 2^2 - \frac{2\cdot 5\,840\,(4+0{,}1) - 2\cdot 4\cdot 17\,120}{1{,}25\cdot 4}} =$$

$$= 88{,}3 \text{ zile.}$$

## Concluzii

**Timpul optim de funcționare a unei turbine cu condensație și prize reglabile depinde, în genere, de patru factori : gradul de termoficare $\alpha_T$ (care apare indirect), raportul $n$ între puterea centralei și puterea grupului oprit pentru revizia condensatorului, consumul specific $q_s$ al grupurilor de rezervă din sistem și timpul de revizie, $\tau_{rev}$.**

**Expresia timpului optim, $\tau_{opt}$, rezultă mai complicată dacă funcția de înrăutățire a consumului specific se abate de la variația liniară.**

(Articol intrat în redacție la 7 iulie 1971)

# CRONICĂ

## COLOCVIU

### asupra automatizării centrelor de dispecer

Ing. Suzette Marcu și
dr. ing. Victor Romert

Între 12 și 17 octombrie 1971 a avut loc la Paris un colocviu cu tema „Automatizarea centrelor de dispecer, în vederea utilizării raționale a sistemelor de energie electrică", organizat de către Comisia Economică pentru Europa, Comitetul de Energie Electrică al O.N.U.

Scopul colocviului a fost organizarea unui schimb de informații cu privire la aspectele tehnico-economice ale concepției centrelor de dispecer, considerînd progresele cele mai recente în domeniul informaticii și al automatizării, care permit mărirea eficienței conducerii prin dispecer, în vederea utilizării raționale a sistemelor electrice. Problemele principale supuse dezbaterii au fost : oportunitatea și eficiența tehnico-economică a introducerii tehnicii de calcul în conducerea operativă prin dispecer, metodele de determinare a eficacității tehnico-economice, volumul de dotare recomandat cu mijloace de transmitere și prelucrare a informațiilor, organizarea comenzii prin dispecer, sistemele utilizate.

În cadrul colocviului au fost prezentate 15 referate axate pe următoarele probleme principale :

1. Incidența evoluției sistemelor energetice asupra concepției centrelor de dispecer. Utilizarea calculatoarelor pentru calcule previzionale și funcțiuni în timp real.
2. Eficiența tehnico-economică a automatizării centrelor de dispecer ale sistemelor electrice și posibilitatea de stabilire a unor indicatori obiectivi.
3. Mijloacele tehnice moderne de colectare, transmitere și prelucrare a informațiilor pentru automatizarea centrelor de dispecer ale sistemelor electrice.
4. Principiile de organizare a comenzii prin dispecer în :
— sistemul energetic unificat al U.R.S.S. ;
— sistemul energetic al Franței.
5. Prezentarea unor instalații de dispecer realizate în următoarele sisteme energetice :
— Berlin (BEWAG) — R. F. a Germaniei ;
— Hamburg (HEW) — R. F. a Germaniei ;
— Badenwerk — R. F. a Germaniei.
6. Proiecte de automatizare a unor centre de dispecer în deceniul actual în :
— sistemul energetic al Suediei ;
— sistemul energetic al Turciei.

Referitor la instalațiile realizate prezentate sînt de remarcat următoarele aspecte mai semnificative :

a) Sistemul energetic BEWAG are o configurație strict insulară, cu o putere instalată de 1 299 MW. Dispecerul (intrat în funcțiune în 1967) este dotat cu :

— instalații de telemecanică, care efectuează transmiterea informațiilor asupra procesului tehnologic la centralele și stațiile importante din sistem ;

— o instalație de reglare automată a frecvenței și de repartiție a sarcinilor între centralele sistemului ;

— un calculator cu memorie de 2 × 32 K, utilizat ca consultant al dispecerului, neconectat la rețeua transmisiilor de informații.

b) Noul dispecer al sistemului energetic HRW, care are o putere instalată de 1 650 MW, a intrat în funcțiune în anul 1968, fiind dotat cu următoarele instalații principale :

— instalații de telemecanică, prin intermediul cărora se transmit atît informații de la obiective, cît și comenzi de la punctul de dispecer ;

— un calculator 305 Siemens, cu memorie de 16 K, conectat la instalațiile de telemecanică atît în sensul recepției informațiilor, cît și în sensul elaborării telecomenzilor.

Din prezentarea proiectului de automatizare a Dispecerului național al Suediei au rezultat următoarele :

— Sistemul energetic al Suediei a avut la sfîrșitul anului 1970 o putere instalată de 15 300 MW, această putere urmînd a atinge 33 500 MW în 1980.

— Proiectul ce se elaborează în prezent prevede dotarea dispecerului începînd din anul 1974 cu un sistem de calcul și de prelucrare a datelor în timp real. Calculatorul va primi informații de la circa 200 de centrale și stații, prin circa 20 de stații de concentrare dotate cu calculatoare. Instalațiile de telemecanică existente vor rămîne în funcțiune, ca rezervă a noilor instalații.

— Sistemul de calcul va prelua succesiv, în patru etape, între 1974 și 1980, următoarele funcțiuni :

— etapa I — protocolare și control limite ;
— etapa II — circulații de puteri ;
— etapa III — calcule de verificare a siguranței sistemului și calcule de costuri marginale ;
— etapa IV — repartiție economică a sarcinii și reglaj frecvență-putere.

După prezentarea referatelor și discuțiile purtate pe marginea lor, s-a organizat o masă rotundă, la care un grup de experți s-au referit la problemele principale ce se pun în legătură cu automatizarea centrelor de dispecer.

Din întreaga desfășurare a colocviului a rezultat în mod evident faptul că problema automatizării centrelor de dispecer prezintă aspecte foarte complexe, insuficient lămurite pînă în prezent, datorită lipsei de experiență.

În majoritatea țărilor europene automatizarea centrelor de dispecer se află încă în faza de studiu. Instalațiile realizate pînă în prezent sînt date în funcțiune relativ recent și nu efectuează decît o parte din funcțiunile comenzii prin dispecer sau sînt aplicate la un volum restrîns de informații.

În prezent progresele mari ale tehnicii informaticii permit, teoretic, realizarea oricăror funcțiuni cerute și atingerea unui grad înalt de automatizare, care ar exclude necesitatea omului în procesul de producție. Costul ridicat al investițiilor corespunzătoare limitează însă utilizarea pe scară largă a posibilităților oferite.

De asemenea, cunoașterea insuficientă a tehnicii de calcul nu permite elaborarea unor programe atît de complete, încît să fie posibilă prevederea reacțiilor necesare în fiecare caz de exploatare.

În cadrul referatelor prezentate și a discuțiilor purtate s-a căutat să se evidențieze criteriile care ar putea exprima un echilibru între contradicțiile dintre cele două aspecte arătate ale automatizării centrelor de dispecer.

Majoritatea participanților la discuții au arătat că justificarea investițiilor relativ ridicate, aferente introducerii sistemelor de calcul în timp real în comanda operativă, se poate face din următoarele puncte de vedere :

a) Din considerente de asigurare a funcțiunilor de supraveghere și siguranță a sistemului energetic. În acest caz, un calcul de eficiență economică este practic imposibil de efectuat pe baze obiective. Gradul de dotare tehnică, asigurînd funcțiunile arătate și care nu necesită o justificare economică, deoarece reprezintă un minim tehnic, trebuie însă ales, după părerea marii majorități a participanților la discuție, în funcție de amploarea și de importanța instalațiilor comandate. Adoptarea tehnicii de calcul cu funcțiuni în timp real în scopuri de supraveghere și siguranță ar trebui să se facă atunci cînd cantitatea de informații necesare, duse la centrul de dispecer respectiv ar depăși capacitatea de cuprindere a personalului de serviciu la punctele de dispecer, dotate cu mijloace clasice.

În cazul sistemelor energetice care nu dispun de instalații mai evoluate de transmitere a informațiilor, apare categoric oportună dotarea acestora de la început cu mijloace la nivelul tehnicii actuale.

b) Din considerente tehnico-economice de optimizare a regimului de funcționare. În acest caz, investițiile necesare

automatizării comenzii prin dispecer s-ar justifica prin economiile obţinute în urma optimizării regimului, considerînd o perioadă de amortizare a echipamentelor cuprinsă între 5 şi 10 ani. Această perioadă de amortizare nu corespunde însă duratei de viaţă a echipamentelor, care este mult mai mare, ci este determinată de uzura morală foarte rapidă a acestora.

Oportunitatea introducerii automatizării în scopul optimizării sistemelor energetice a fost susţinută în special de reprezentanţii Franţei, care consideră că partea importantă a investiţiilor o constituie introducerea calculatoarelor în timp real pentru funcţiuni de supraveghere, astfel încît costul suplimentar relativ redus, aferent funcţiunilor de optimizare, se recuperează prin economiile rezultate. Reprezentanţii Marii Britanii consideră, dimpotrivă, că investiţiile suplimentare (Hardware şi Software) aferente funcţiunilor de optimizare în timp real sînt relativ mari, astfel încît nu se justifică prin economiile rezultate.

Din partea altor ţări nu s-au exprimat păreri definite, neexistînd încă o experienţă de realizare sau de exploatare a unor instalaţii,.

Mulţi participanţi au susţinut ideea că este necesar să se păstreze, acolo unde există, echipamentele clasice, a căror funcţionare este încă satisfăcătoare. S-au arătat însă dificultăţile ce apar pentru integrarea acestor instalaţii în noile complexe de transmitere şi de prelucrare a informaţiilor.

În cadrul colocviului s-a organizat vizitarea instalaţiilor Dispecerului naţional al sistemului Electricité de France şi ale Dispecerului regiunii Paris.

Dispecerul naţional are în comanda sa reţeaua de foarte înaltă tensiune, de interconexiune între sistemele energetice regionale, precum şi liniile de interconexiune cu sistemele vecine, fiind dotat cu următoarele categorii de instalaţii:

a) Legături telefonice cu instalaţiile energetice subordonate. Dispecerul dispune de o centrală telefonică automată, prin intermediul căreia intră în reţeaua telefonică automată, operativă.

b) Echipamente de telemecanică pentru transmiterea telesemnalizărilor şi a telemăsurilor. Volumul acestora cuprinde:

— telesemnalizarea întreruptoarelor liniilor de foarte înaltă tensiune şi a liniilor de interconexiune;

— telemăsurarea puterilor active şi reactive pe liniile respective;

— telemăsurarea tensiunii pe barele de foarte înaltă tensiune.

Telesemnalizarea întreruptoarelor de linii este realizată prin simboluri luminoase, avînd criteriu dublu—culoarea, simultan cu poziţia.

Liniile cu simbolurile respective de întreruptoare sînt reprezentate pe un panou-hartă. În dreptul liniilor sînt figurate procentual sarcinile, prin „cuartile" luminoase, corespunzătoare unui procent de 25, 50, 75 sau 100% din sarcina admisibilă.

De asemenea, se semnalizează separat suprasarcina liniilor (peste o anumită limită prestabilită) şi sensul de circulaţie. Atît sarcina procentuală, cît şi suprasarcina, sînt obţinute prin intermediul instalaţiilor de telemecanică.

Telemăsurările sînt afişate prin aparate înregistratoare analogice sau indicatoare cifrice. În total sînt montate 100 de aparate înregistratoare, din care 80 sînt în prezent în funcţiune. Cele mai multe aparate înregistratoare se pot conecta la o mărime selectată (aşa-zisele aparate „banalizate"); o parte dintre aparate sînt conectate fix la anumite mărimi, ca, de exemplu, puterile pe liniile de interconexiune sau unele mărimi caracteristice reglajului de putere (fază-energie). Aparatele cifrice sînt toate selectabile (banalizate).

c) Instalaţia de reglaj fază-energie. Aceasta măsoară puterea pe liniile de interconexiune şi frecvenţe, formînd binomul de reglaj în raport cu valorile de consemn şi stabileşte nivelul de reglaj, pe care îl transmite, conform unui dozaj de repartiţie prestabilit, celor opt instalaţii de reglaj regionale.

d) Un sistem de calcul pentru funcţiuni în timp real şi de gestiune. În mod experimental s-a conectat un ecran cu tub catodic, în culori, la calculator, pentru a se urmări funcţionarea acestuia. În camera de comandă se află un singur om în tură. Pupitrul de dispecer, foarte redus ca dimensiuni, este dotat corespunzător cu un singur loc de lucru.

Dispecerul regiunii Paris este unul din cei opt dispeceri de treapta a II-a, care realizează coordonarea funcţionării sistemului energetic din regiunea respectivă. În comanda directă a dispecerului intră centralele mari şi medii din regiune şi instalaţiile de transport de înaltă şi foarte înaltă tensiune.

Dispecerul dispune de următoarele categorii de instalaţii:

a) Legături telefonice operative proprii, prin instalaţii de curenţi purtători pe LEA sau circuite închiriate MPT, cu toate instalaţiile energetice în subordine. În particular, cu instalaţiile energetice din oraşul Paris există legături în cabluri proprii, EdF dispunînd de o reţea foarte extinsă de cabluri pe teritoriul oraşului.

b) Echipamente de transmitere a informaţiilor de telemecanică de la toate instalaţiile energetice importante.

Volumul transmiterii lor cuprinde:

— Telesemnalizarea tuturor întreruptoarelor şi a separatoarelor de bare ale grupurilor mari, a transformatoarelor şi a liniilor de înaltă şi foarte înaltă tensiune.

— Telemăsurarea puterilor active şi reactive pe linii şi transformatoare mari.

— Telemăsurarea puterilor active însumate ale marilor centrale.

— Telemăsurarea tensiunii pe bare.

Afişarea telesemnalizărilor este realizată pe un panou tip mozaic, pe care sînt reprezentate desfăşurat schemele staţiilor mari şi ale marilor centrale, cu liniile de legătură între ele. În cazul unor centrale cu grupuri mari, cu schemă de conexiune mai complicată între grupuri şi barele de înaltă tensiune, este reprezentată numai partea aferentă grupului, fără legătura la bare. Poziţia întreruptoarelor este reprezentată printr-un simbol cu criteriu dublu—poziţie şi culoare—aferente celor două poziţii. Poziţia separatoarelor este reprezentată printr-un simbol cu criteriu unic — aprins — pentru o singură poziţie (închis).

Pe acelaşi panou-mozaic sînt indicate prin „cuartile" sarcinile procentuale ale liniilor şi transformatoarelor.

De asemenea, pentru aceleaşi elemente, sînt semnalizate sensul de circulaţie a sarcinii şi supraîncărcarea.

Telemăsurările sînt afişate pe aparate înregistratoare analogice sau pe aparate indicatoare cifrice, în general selectabile.

c) O instalaţie de reglaj fază-energie, care primeşte nivelul elaborat de calculatorul central şi îl repartizează între centralele în funcţiune.

De asemenea, dispecerul dispune de o instalaţie de afişare pe patru ecrane cu tuburi catodice, legate la sistemul de calcul. Pe aceste ecrane se pot afişa, la cererea dispecerului, schemele de conexiuni ale unor staţii, cu indicarea tuturor mărimilor aferente (puteri active şi reactive pe linii şi transformatoare, tensiuni pe bare) sau diferite protocoale (ultimele modificări de poziţii, ultimele alarme etc.).

Colocviul, organizat sub auspiciile O.N.U., a permis un schimb de informaţii şi opinii între specialiştii diferitelor ţări participante. El s-a dovedit cu atît mai util, cu cît în prezent se trece în majoritatea ţărilor la introducerea unei tehnici noi în comanda operativă prin dispecer.

# Recenzii

**N. MIREA. Soluţii noi în automatizarea centralelor termoelectrice.** Studii documentare — seria ,,Termoenergetică şi energetică nucleară''. Oficiul de documentare energetică, 1971, 74 pag., 80 fig., 97 ref. bibl.

O recentă apariţie a colecţiei de ,,Studii documentare'' editată de O.D.E. — seria termoenergetică şi energetică nucleară — va prezenta cu siguranţă un interes deosebit pentru toţi cei care lucrează în proiectarea sau exploatarea centralelor termoelectrice.

Este îndeobşte cunoscut că problemele actuale ale automatizării centralelor constituie unul dintre cele mai discutate subiecte de către specialişti, diversitatea tendinţelor şi multitudinea experimentărilor neoferind deocamdată criterii sigure de alegere a soluţiilor optime. De aceea prezentarea cuprinzătoare a celor mai interesante şi semnificative soluţii adoptate sau preconizate pentru automatizarea marilor centrale termoelectrice permite celor interesaţi compararea posibilităţilor oferite de tehnica actuală, înlesnind în unele cazuri alegerea rezolvărilor concrete.

Prima parte a volumului are un pronunţat caracter expozitiv, prezentînd principalele realizări şi direcţii de dezvoltare în domeniul general al centralelor termoelectrice, îndeosebi privind automatizarea acestora. Problemele majore pe care le ridică introducerea automatizării în marile unităţi energetice impun uneori rezolvări contradictorii, găsirea variantei optime depinzînd în mare măsură de condiţiile şi obiectivele pe care ni le impunem. Principiile de bază ale unei concepţii generale de automatizare în centrale termoelectrice vizează mai mult centralele viitorului, considerîndu-le pe cele actuale baze experimentale pentru punerea la punct a noilor tehnici. Dezvoltarea automatizării în ultimul deceniu a apropiat în oarecare măsură cele două căi : automatizarea complexă a noilor unităţi (S.U.A., U.R.S.S.) şi cea treptată, a anumitor instalaţii (Franţa, Anglia, R. F. a Germaniei). Menţionăm aici prezentarea detaliată a nivelelor de automatizare în sistemele energetice, precum şi analiza critică a sistemelor de conducere a blocurilor. În ce priveşte criteriile de introducere a automatizării, ele privesc atît aspecte economice, respectiv modalităţile de calcul al eficienţei, cît şi cerinţele impuse echipamentului tehnologic privind fiabilitatea şi calitatea funcţionării acestuia.

Reglarea automată a blocurilor cazan-turbină reprezintă cel mai dezvoltat capitol. Sînt prezentate — în ordinea inversă a rezervelor de stabilitate pe care le oferă — patru tipuri de scheme de reglare a puterii blocului, analizate din punctul de vedere al avantajelor şi dezavantajelor în exploatare, precum şi unele scheme combinate. Pentru reglarea cazanelor de abur şi a instalaţiilor auxiliare acestora (degazoare, pompe de alimentare), experienţa actuală oferă mai multe scheme verificate în practică, astfel că în lucrare sînt analizate numai problemele speciale puse la pornirea sau la funcţionarea sub sarcină variabilă a cazanelor cu străbatere forţată : reglarea combustibilului, a aerului de ardere şi, în special, a temperaturii aburului supraîncălzit. De asemenea sînt prezentate succint unele tehnici noi, experimentate în ultimul timp, pentru reglarea cazanelor de abur (reglare extremală, după model, adaptivă etc.).

Capitolul 3 prezintă pe scurt funcţiile şi problemele puse de proiectarea sistemelor de protecţie ale blocurilor cazan-turbină, exemplificînd cu o protecţie de turbină şi una de pompe de alimentare. Considerăm totuşi că, fiind extrem de sumar tratată, protecţia blocurilor ar fi fost mai bine plasată ca un subpunct al capitolului precedent. Desigur însă că, în economia lucrării, se putea acorda o pondere mai mare problemelor de protecţie. În schimb trebuie subliniată dezvoltarea capitolului următor, tratînd posibilităţile de utilizare a calculatoarelor electronice în automatizarea blocurilor energetice. După cum arată experienţa, o conducere integral automatizată a blocurilor este încă dificil de realizat, în special ţinînd seamă şi de limita de rentabilitate a diverselor soluţii. Pe prim plan trece acum optimizarea funcţionării, mai ales la regimurile tranzitorii. Această tendinţă, mai realistă, poate fi exemplificată prin situaţia de la CNE Chinon, unde, după o perioadă de încercări infructuoase calculatorul a fost definitiv abandonat ca organ de comandă.

Sînt prezentate pe larg unele soluţii de echipare a blocurilor cu calculatoare, analizîndu-se funcţiile ce revin acestora în fiecare caz. Reglarea numerică prin calculator oferă posibilitatea obţinerii unei precizii bune şi unei siguranţe în funcţionare satisfăcătoare faţă de reglarea analogică. În ce priveşte calculatoarele propriu-zise, perfecţionarea lor continuă a atras şi o creştere a costurilor, astfel că este din ce în ce mai greu să se asigure limita de rentabilitate. Un drum nou l-ar constitui utilizarea de minicalculatoare pentru comanda buclelor de reglare individuale.

Capitolele următoare au mai mult un caracter documentar, deosebit de util pentru proiectanţi. Se descriu aparate elaborate pentru automatizarea cazanelor (determinarea sarcinii admisibile şi conducerea blocului), precum şi problemele echipării camerelor de comandă în condiţiile utilizării calculatoarelor şi sistemelor logice. În sfîrşit, ultimul capitol descrie situaţia actuală a automatizării instalaţiilor de tratare chimică a apei, amintind şi posibilităţile de aplicare a tehnicii pneumatice pentru comanda elementelor de execuţie.

În ansamblu, lucrarea prezintă un material de mare interes pentru proiectanţi şi personalul de exploatare al centralelor electrice. Bibliografia utilizată, fără a fi prea bogată (circa 100 lucrări), este destul de recentă, majoritatea titlurilor fiind din anii 1968—1970. În ce priveşte organizarea materialului, considerăm ca prea sumară prezentarea regulatoarelor şi a altor elemente de execuţie utilizate în automatizarea blocurilor. De asemenea, prin însuşi titlul lucrării, s-a renunţat la tratarea problemelor de automatizare a centralelor cu termoficare, deşi răspîndirea acestora în ţara noastră implică o serie de probleme specifice. Cu toate aceste obiecţii, volumul reprezintă totuşi un instrument extrem de util pentru punerea ,,la zi'' a tuturor celor care lucrează sau se ocupă de domeniul automatizării centralelor.

**Ing. D. Hirscu**

# Informaţii tehnice

Pe baza unor cifre statistice culese din 50 de întreprinderi energetice din U.R.S.S., cu privire la comportarea descărcătoarelor cu rezistenţă variabilă în zone poluate, a rezultat un număr destul de mare de avarii. Repartiţia pe tipuri de descărcătoare urmărite cuprinde: RVMG şi RVMK la tensiunea de 330 kV, RVMG şi RVS la 220 kV, RVS-150 şi tipuri de import, la 150 kV, RVS-110 şi RVS-35 la 110 kV şi respectiv 35 kV, RVS, RVP şi alte tipuri la 6, 10, 15 şi 20 kV. Ca surse de poluare, 43,8% din descărcătoarele urmărite se aflau în apropierea combinatelor chimice sau metalurgice, 12,8% în zona fabricilor de ciment şi de materiale de construcţie, 12,4% în zone saline (litoralul mărilor sau lacurilor sărate), 23% în zone ale centralelor electrice şi 8% în apropierea altor tipuri de noxe.

Cercetările dovedesc că descărcătoarele care au rezistenţa de şuntare a eclatoarelor au depuneri poluante mai slabe decît restul echipamentului, datorită încălzirii prin curenţii de scurgere de 50 Hz care trec prin rezistenţele de şuntare. Numărul de deteriorări ale descărcătoarelor creşte cu tensiunea nominală. Deteriorările au apărut la diverse tipuri de poluare, în special pe timp ceţos, cu ploaie măruntă sau cu zăpadă care se topeşte.

Curăţirea izolaţiei descărcătoarelor se efectua la intervale cuprinse între o lună şi un an. Unele descărcătoare au fost tratate cu unsori hidrofobe.

Pentru preîntîmpinarea deteriorărilor descărcătoarelor în zone poluate se propun modificări ale acestora, în sensul utilizării unor izolatoare cu linie de fugă mai mare, cu lungimi unitare mai mari (formate din mai puţine elemente pentru tensiuni mari), mărirea curenţilor de scurgere prin rezistenţele de şuntare pentru micşorarea influenţei stratului superficial de depuneri bune conducătoare şi încălzirea porţelanului pentru producerea unei circulaţii de aer, utilizarea unor condensatoare de egalizare în paralel cu eclatoarele, pentru o mai bună repartiţie a potenţialelor de-a lungul descărcătoarelor.

*(Elektriceskie stanţii, nr. 9, 1971)*

Consiliul tehnic-ştiinţific al Ministerului Energeticii şi Electrificării al U.R.S.S. a analizat referatul tehnicoeconomic privind proiectarea centralelor termoelectrice cu generatoare de 800 MW, folosind drept combustibil gaze naturale şi păcură.

Se prevede realizarea unor centrale puternice în partea europeană a U.R.S.S. Parametrii aburului înainte de intrarea în turbină sînt de 240 ata, 540/540°C. Cazanul recomandat este de tip „pi" cu focar în varianta cu cicloane. Toate cazanele sînt prevăzute cu ecrane etanşe la gaz, cu suprapresiune în focar.

Turbina este de fabricaţie LMZ, cu o singură axă. Prototipul se instalează în prezent la CTE Slaviansk. Se prevede utilizarea condensatoarelor aşezate în lung. Se fac unele modificări în privinţa prizelor de abur, care să permită alimentarea turbinelor auxiliare prevăzute pentru servicii proprii.

Pompele de alimentare, în număr de două, sînt acţionate cu turbine şi au pompe buster pe acelaşi ax, debitul unitar este de 50% din debitul nominal. În locul a şase ventilatoare de aer şi şase ventilatoare de gaze de ardere, cum se realizează la Slaviansk, se prevăd în total două turbosuflante.

Sala maşinilor şi a cazanelor este concepută pentru patru sau şase blocuri de 800 MW. Varianta de bază prevede aşezarea longitudinală a grupului, cu o deschidere de 30 m a sălii. Volumul specific construit reprezintă 0,36—0,40 $m^3$/kW şi în varianta cu partea superioară a cazanului în aer liber 0,28 $m^3$/kW, ceea ce reprezintă o scădere de circa 30% faţă de indicii atinşi la centralele realizate cu grupuri de 300 MW. Suprafaţa specifică este de 0,008—0,01 $m^2$/kW, faţă de 0,013—0,015 $m^2$/kW la centrale cu grupuri de 300 MW.

Răcirea se recomandă cu turnuri de răcire de 65 000 $m^3$/h.

Staţiile de tip exterior prevăzute la tensiunile de 220 şi 500 kV au separatoare suport RPND-500 şi separatoare atîrnate tot de tip RPND-500. La staţii, operaţiile de montaj şi reparaţii se realizează prin mecanisme autopropulsate.

Staţia de 500 kV se recomandă în varianta pe trei rînduri, iar cea de 220 kV pe două rînduri. Întreruptoarele sînt cu aer comprimat de tip VVB-500.

Scheletul corpului principal al clădirii se prevede din construcţie metalică, cu utilizarea oţelurilor de mărci superioare.

Indicatorii principali pentru centralele de 4800—3200 MW sînt următorii:

— ore de utilizare a puterii instalate 5000 h
— consumul specific de combustibil convenţional 311,5 g/kWh
— consumul de energie electrică pentru serviciile proprii 1,65%
— randamentul centralei 39,35%
— costul unui kW instalat 102,5—106,3 ruble
— costul energiei electrice 0,797 copeici/ /kWh

Hotărîrea consiliului tehnico-ştiinţific a cerut ca la faza următoare de proiectare să se renunţe la instalarea cazanelor de pornire (cinci cazane de 50 t/h) prin utilizarea unui prim grup de termoficare de tip PT şi prin instalarea grupurilor diesel pentru rezerva serviciilor proprii. De asemenea, se cere prevederea unei mecanizări complete a curăţirii în centrală, a deschiderii şi închiderii şi spălării ferestrelor, a descărcării şi alimentării cu produse chimice a instalaţiilor de epurare şi a transportului intern (cu electrocare).

Pe baza acestor elemente şi a automatizării complete a procesului tehnologic se cere stabilirea numărului de personal la nivelul celor mai bune centrale similare din alte ţări.

*(Energhetik, nr. 8, 1971)*

La uzina ŢNIITMAŞ (U.R.S.S.) au fost asimilate în producţie de serie noi tipuri de aparate de măsură pentru controlul continuu automat al vibraţiilor lagărelor şi axelor maşinilor rotative în timpul funcţionării. Uzina a asimilat, pentru controlul permanent al vibraţiilor la lagăre, aparatele de tip ABKC-1M (AVCS-1M) şi ABKC-2 (AVCS-2).

Aparatul ABKC-2 este destinat prevenirii avariilor datorate creşterii vibraţiilor prin măsurarea continuă automată a amplitudinii şi frecvenţei. În cazul depăşirii valorii admisibile, aparatul dă un semnal de prevenire şi, în cazul creşterii în continuare a vibraţiei, un semnal de alarmă. Semnalul de alarmă este fixat de aparat, care permite stabilirea mai multor valori de referinţă. Aparatajul cuprinde traductoare piezoelectrice pe două componente, la punctele de măsură, elementele de ieşire cu două canale, situate la 3 m de locul de instalare a traductoarelor, blocuri cu patru canale, bloc de lucru şi de rezervă pentru măsură, cu alimentare de la acumulatoare. Distanţa maximă între traductoare şi echipamentul de semnalizare şi control este de 200 m. Traductoarele pot funcţiona în medii cu pericol de explozie, unde este posibilă formarea amestecurilor gazoase. Aparatajul poate fi controlat fără demontare.

Aparatele ABKC-1M constau din două traductoare piezoelectrice, elemente de ieşire cu două canale, două blocuri de control al vibraţiilor, un aparat de măsură indicator şi un comutator. Aparatul asigură controlul permanent al amplitudinii vibraţiilor lagărelor pompelor în două puncte. Pe cadranul aparatului indicator apare o semnalizare luminoasă în cazul depăşirii valorilor-limită.

Pentru aparatul ABKC-1M, diapazonul frecvenţelor de lucru este între 40 şi 500 Hz, cu limitele de măsură de 10 la 100 şi 30 la 300 microni, în timp ce la aparatul ABKC-2 diapazonul de frecvenţe este de 18 la 350 Hz pentru semnalizare şi 30 la 350 Hz pentru canalul de măsură, limitele de măsură fiind 5 g pe canalul de semnalizare şi 10 la 50 şi 15 la 150 microni pe canalul de măsură.

Pentru controlul vibraţiilor axelor turbinelor şi compresoarelor, uzina a asimilat aparatele IKB-1M, IKB-2 şi ABKC-3. Aparatul IKB-1M este destinat controlului automat al amplitudinii vibraţiilor axului, înregistrării acestora şi transmiterii semnalului la calculatorul electronic, precum şi sem-

nalizării depăşirii nivelului admis. Aparatul IKB-2 controlează vibraţiile prin scrutarea periodică a punctelor de măsură şi transmiterea la aparatul indicator a mărimilor, precum şi semnalizarea depăşirii valorilor de referinţă fixate. Aparatul ABKC-3 semnalizează atingerea limitei admisibile maxime a vibraţiilor, cu măsura la alegere a amplitudinilor pe aparat indicator.

Aceste aparate pot funcţiona în domeniile de frecvenţă 8–300 Hz, cu posibilitatea de extindere a diapazonului la 3000 Hz pentru tipurile IKB-1M şi IKB-2M, 15 – 1000 Hz pentru tipul ABKC-3. Limita de măsură este 20 la 200 sau 50 la 500 microni pentru primele două şi 30 la 300 microni pentru tipul ABKC-3.

*(Energomaşinostroenie, nr. 10, 1971)*

Proporţiile energiei primare în producţia energiei electrice în R. F. a Germaniei în 1970 :

| | |
|---|---|
| Cărbune huilă şi ardere mixtă | 56,1 % |
| Lignit | 17,4 % |
| Combustibil lichid, gaze şi altele | 15,2 % |
| Apă | 9,4 % |
| Energie nucleară | 1,9 % |
| Puterea totală la finele lui 1970 | =50 833 MW |

Repartiţia consumului de energie electrică în R.F. a Germaniei în 1970 pe grupe de consumatori :

- Industrie 39,4 % din reţeaua publică, 17,3 % din instalaţii proprii
- Consum casnic 18,5 %
- Comerţ şi ateliere 8,3 %
- Pierderi şi consum nestabilit 6,0 %
- Instalaţii publice 4,9 %
- Transporturi, inclusiv calea ferată 3,4 %
- Agricultură 2,2 %

Consumul total în 1970 a fost de 232,6 TWh.

În Anglia au început în martie 1971 lucrările celei mai mari centrale electrice din lume cu combustibil lichid. Centrala va avea în total 3 300 MW, fiind compusă din cinci unităţi a 660 MW, va intra în serviciu la finele anului 1975 şi va costa 215 milioane £, adică circa 570 DM/kW.

Pentru îndepărtarea reziduurilor radioactive, în R.F. a Germaniei se va amenaja în 1974 o cavernă prototip de 5000 $m^3$ la o adîncime de 900 m. Dacă rezultatele vor fi mulţumitoare se va construi apoi o cavernă de 60 000 $m^3$. Primele cheltuieli se ridică la 11 milioane DM, din care Euratom contribuie cu 3,5 milioane DM.

*(Elektrizitätswirtschaft, I. 1971, nr. 16, p. 454, 490, 496)*

În Australia, la Nabarlek, se află cel mai mare zăcămînt de uraniu din lume. Se apreciază că s-ar găsi 55 000 t uraniu cu un conţinut de 245 kg oxid de uraniu pe tonă.

În 1971 Anglia a folosit prima dată ca energie primară mai mult combustibil lichid decît cărbune. Consumul de energie în Anglia în 1971 s-a socotit la $345 \times 10^6$ TCE (TCE = tons of coal equivalent = echivalentul în cărbune în tone), consumul de combustibil lichid la $162 \times 10^5$ TCE şi de cărbune numai la $147 \times 10^6$ TCE.

*(Energie, R.F. a Germaniei, 1971, nr. 7/8, p.251–253)*

ASEA a construit un transformator de supraînaltă tensiune pentru 1500/765/420 kV şi 333 MVA, pentru încercări. Cazanul transformatorului are 3,7 m lăţime, 8,6 m lungime şi 5 m înălţime. Înălţimea totală pînă la vîrful transformatorului este de 17,5 m şi greutatea totală 290 t.

*(Bull. ASE, Elveţia, 1971, nr. 18, p. 923)*

Producţia de gaze naturale în 1970

| | | |
|---|---|---|
| America de Nord | 678,0 | miliarde $Nm^3$ |
| America de Sud | 35,8 | ” ” |
| Europa de Vest | 75,0 | ” ” |
| Europa de Vst | 236,4 | ” ” |
| Africa | 3,2 | ” ” |
| Orientul Mijlociu | 7,9 | ” ” |
| Orientul Îndepărtat | 13,2 | ” ” |
| Total | 1 049,5 | miliarde $Nm^3$ |

Rezervele de gaze naturale sînt estimate la 40 520 miliarde $Nm^3$.

*(Handelsblatt, R.F. a Germaniei, 14 dec. 1971)*

**Energia primară mondială anuală**

| | milioane tone SKE produsă | consumată |
|---|---|---|
| America de Nord | 2050 | 2260 |
| America latină | 400 | 220 |
| Europa de vest | 540 | 1160 |
| Africa de nord | 1010 | 90 |
| Africa de sud şi mijloc | 60 | 60 |
| Țările socialiste | 1470 | 1370 |
| Orientul Îndepărtat | 510 | 530 |
| Japonia | 60 | 260 |
| Australia | 70 | 50 |
| Total | 6170 | 5980 |

*(Handelsblatt, R.F. a Germaniei, 15 dec. 1971)*

Noile descoperiri arată o creştere de 10 miliarde tone a rezervelor de ţiţei, adică de la 73,2 miliarde tone la 83,1 miliarde tone. Creşteri mai mari s-au produs în ţările socialiste, cu 5,6 miliarde tone, şi Orientul apropiat, cu 1,7 miliarde tone.

*(Maschinenmarkt, R.F. a Germaniei, 4 ian. 1971)*

A doua centrală nucleară din R. S. Cehoslovacă va fi construită la Dukovan (Moravia), în comun de către specialişti sovietici şi cehi. U.R.S.S. va face proiectul tehnic şi va livra instalaţia tehnologică. Primul grup, de 440 MW, va intra în serviciu în 1979, iar al doilea, de aceeaşi putere, în 1980.

*(Commerce Exterieur, U.R.S.S., 1971, nr. 12, p. 16)*

**Revista „ENERGETICA” — organ al Ministerului Energiei Electrice şi al Consiliului Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor din R.S. România (CNIT). Redacţia: Bucureşti, str. Galaţi nr. 5–7, Sectorul II. Tel. 136683, 130053. Instituţiile pot achita abonamentele pentru biblioteci şi cabinete tehnice în contul nostru de virament nr. 30.01.01.00 B.N.R.S.R. — Sectorul VI. Tarif pentru întreprinderi: lei 100 anual. Tarif pentru** abonamente individuale: **lei 30 anual. Preţul unui exemplar lei 5**

**Taxele poştale plătite în numerar conform aprobării D.G.P.T. nr. 10.1095, 1967**

I.P.I. c. 1123

**41 401**

## OFICIUL DE DOCUMENTARE ENERGETICĂ

***Bucureşti, str. Galaţi nr. 5 – 7***
***— Sectorul 2 —***

**Oficiul de Documentare Energetică (O.D.E.) este organul de specialitate al Ministerului Energiei Electrice pentru informarea şi documentarea tehnică şi economică în ramura energetică.**

**O.D.E. editează şi difuzează revistele tehnice de specialitate din ramura energetică.**

**O.D.E. editează şi difuzează periodicele documentare privind ramura energetică.**

**O.D.E. editează şi difuzează publicaţiile tehnice departamentale: prescripţii tehnice (normative, regulamente, instrucţiuni, condiţii tehnice, fişe tehnologice, norme interne etc.), norme şi carnete de protecţie a muncii, note tehnice, studii documentare etc.**

**O.D.E. editează şi difuzează materiale de popularizare şi propagandă tehnico-economică: afişe, pliante, broşuri, albume etc.**

**O.D.E. execută, la cerere, traducerea din orice limbă a materialelor şi documentaţiilor tehnice ca: articole, referate, prescripţii, cataloage de produse, prospecte şi alte lucrări de specialitate.**

***Revistele tehnice editate de O.D.E.:***

**„Energetica"**
**„Producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice şi termice"**
**„Construcţii şi montaje energetice"**
**„Studii şi cercetări în energetică" şi suplimentul „Utilizarea calculatoarelor în electroenergetică"**

***Periodicele documentare editate de O.D.E.:***

**„Buletinul de informare pentru cadrele de conducere din energetică"**
**„Buletinul de documentare tehnică în energetică"**

Caiete selective pe temele:

**„Proiectarea şi executarea construcţiilor şi instalaţiilor energetice"**
**„Exploatarea, întreţinerea şi repararea instalaţiilor energetice"**
**„Protecţia muncii şi paza contra incendiilor în construcţiile şi instalaţiile energetice"**
**„Fişe documentare"**
**„Prescripţii tehnice în sectorul energetic"**

***Abonaţi-vă la revistele şi publicaţiile periodice editate de Oficiul de documentare energetică pentru a fi la curent cu toate problemele şi noutăţile tehnice ce apar în activităţile de cercetare, dezvoltare, proiectare, execuţie şi exploatare din ramura energetică.***

***Folosiţi serviciile pe care vi le oferă Oficiul de documentare energetică pentru procurări de cărţi şi reviste străine, traduceri, lucrări reprografiate etc.***

**O.D.E. — M.E.E. — Bucureşti, Str. Galaţi nr. 5 – 7, sectorul 2**
**telefon: 15.16.28 — 14.00.17. — 13.00.53**

# MUZEUL TEHNIC „PROF. ING. DIMITRIE LEONIDA"

În ansamblul serviciilor pe care OFICIUL DE DOCUMENTARE ENERGETICĂ le pune la dispoziția beneficiarilor săi, un loc deosebit îl ocupă documentarea tehnico-științifică realizată prin MUZEUL TEHNIC „PROF. ING. DIMITRIE LEONIDA".

Situat în cadrul pitoresc al Parcului Libertății din București, acest muzeu constituie — prin originalitatea, valoarea exponatelor și unicitatea sa — o piesă de o deosebită valoare în tezaurul expozițional românesc. Cele peste 6 000 de exponate, diorame, machete, modele de mașini — în mișcare sau secționate — ilustrează într-un mod atrăgător și instructiv istoria tehnicii, în special a celei românești, precum și eforturile inteligenței românești, care prin contribuția adusă la dezvoltarea științei și tehnicii se situează pe un loc de frunte în lume.

Muzeul este organizat pe șase sectoare principale, și anume:

— Mecanică
— Magnetism, electricitate
— Minerit și căldură
— Iluminat, telecomunicații și chimie
— Hidraulică
— Mașini industriale

Prin varietatea și bogăția exponatelor sale, MUZEUL TEHNIC „PROF. ING. DIMITRIE LEONIDA" oferă vizitatorilor multiple posibilități de instruire individuală și colectivă, prin lecții și demonstrații practice, cicluri de conferințe și prelegeri pe teme de istorie a științei și tehnicii, susținute de filme și diapozitive. De asemenea, muzeul dispune de o bibliotecă tehnico-științifică de peste 25 000 de volume, precum și de numeroase materiale vizuale (filme, diapozitive).

Muzeul este deschis în fiecare zi, cu excepția zilei de luni.



ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁR ÉS DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT

# IMPORTANT

## pentru elaboratorii de lucrări ce se editează prin Oficiul de documentare energetică

Institutele, centralele, trusturile, întreprinderile Ministerului Energiei Electrice care elaborează lucrări (prescripții tehnice, materiale didactice, de propagandă etc.) ce urmează să fie editate prin Oficiul de documentare energetică vor respecta următoarele condiții, la predarea manuscriselor:

**— Textul va fi dactilografiat la 2 sau 1/2 rînduri, în dublu exemplar (originalul și prima copie).**

**— Nu se admit intervențiile de mînă decît în cazuri excepționale, scrise clar (cu cerneală, pastă sau tuș negru).**

**— Formulele vor fi scrise cît mai îngrijit, în special exponenții, indicii, literele grecești etc.**

**— Desenele — executate în tuș, pe calc — nu vor depăși formatul $A_3$ la lucrările ce se multiplică la rotaprint, respectiv formatul $A_2$ la lucrările ce se execută la tipar. Desenele de dimensiuni mai mari — admise în mod excepțional — vor avea liniile și inscripțiile (texte explicative, cifre) scrise la dimensiuni și grosimi corespunzătoare, astfel încît prin micșorare să ajungă la dimensiunile obișnuite. Este de preferat ca volumul de texte și cifre ale desenelor să se rezume la strictul necesar și, pe cît este posibil, textele descriptive ale diferitelor elemente să fie numerotate și introduse în legenda figurii.**

**— Fotografiile vor fi prezentate pe hîrtie lucioasă, cu contrast puternic, fără umbre. Pentru lucrările multiplicate la rotaprint se va evita, pe cît posibil, utilizarea fotografiilor.**

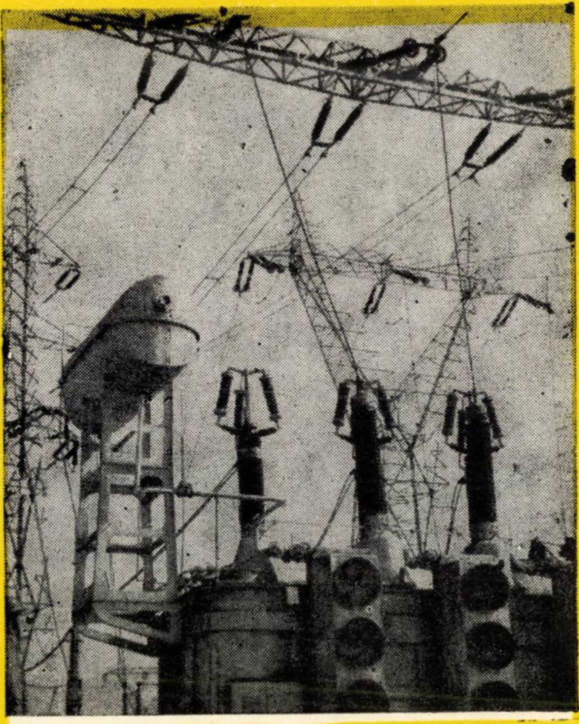
**— Desenele și fotografiile vor fi numerotate în ordinea prezentării lor în text. Locurile de plasare a desenelor vor fi marcate cu numerele respective atît în text cît și pe marginea acestuia. În cazul în care autorul consideră utilă plasarea desenelor sau a fotografiilor la sfîrșitul lucrării, va preciza acest lucru.**

**— Tabelele vor fi dactilografiate și numerotate în ordinea prezentării lor în text.**

**— Bibliografia va cuprinde, în ordine: autorul (numele și inițiala prenumelui), titlul lucrării (în limba originalului, dacă lucrarea nu este tradusă), titlul publicației în care a apărut (dacă se citează un articol), numărul, anul și pagina; editura, localitatea și anul apariției (dacă se citează o carte). În text se vor face, în mod obligatoriu, trimiteri la bibliografia citată, prin indicarea numărului de ordine între paranteze drepte.**

Unităților care nu vor respecta aceste reguli li se vor restitui manuscrisele pentru a le aduce în forma corespunzătoare.

# I.R.E. CONSTANȚA



*IRE CONSTANȚA*

*transportă și distribuie :*

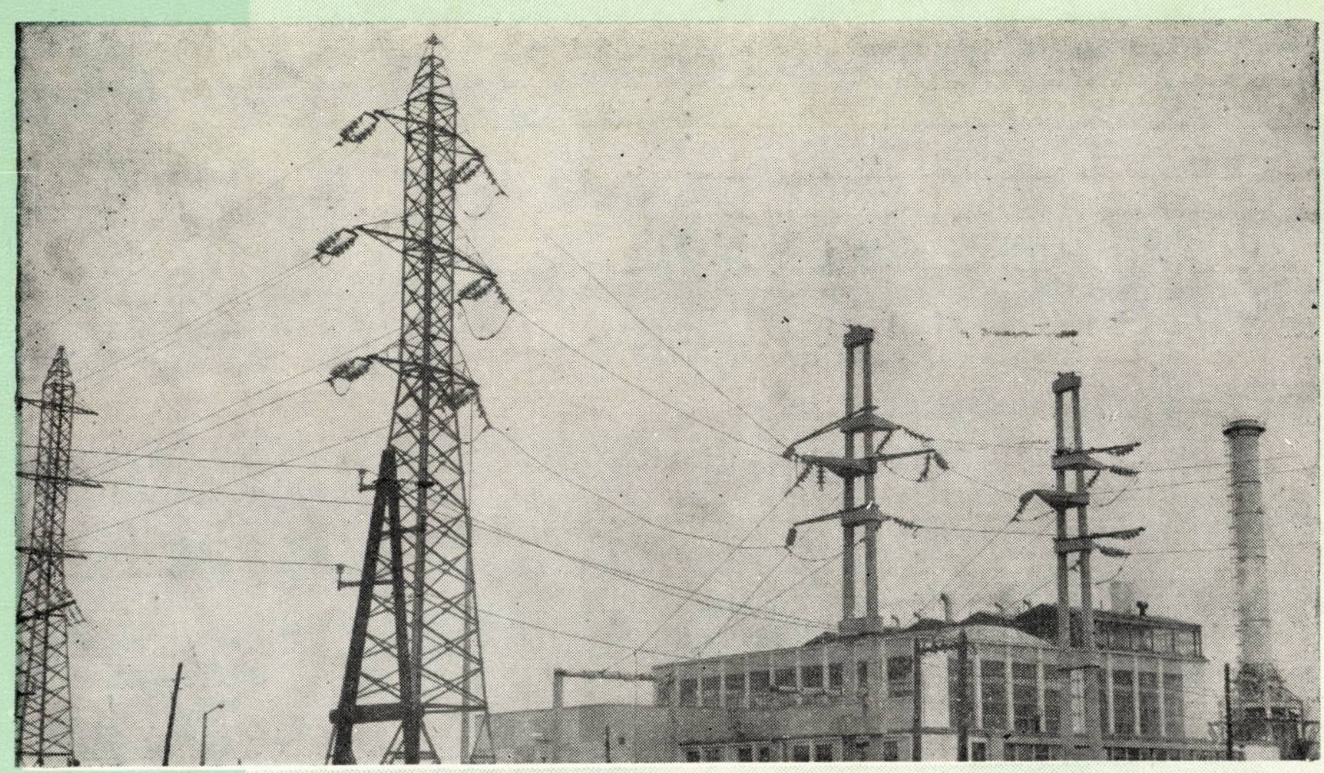
**energie electrică prin rețele de înaltă și joasă tensiune, asigurînd buna deservire a consumatorilor din sectorul industrial, agricol și casnic.**

*proiectează și execută :*

— rețele de joasă tensiune
— stații și posturi de transformare
— instalații de iluminat exterior
— instalații de electrificare în mediu rural
— instalații interioare
— branșamente

**INTREPRINDEREA DE REȚELE ELECTRICE CONSTANȚA**

**Str. Anton Nițescu nr. 77**



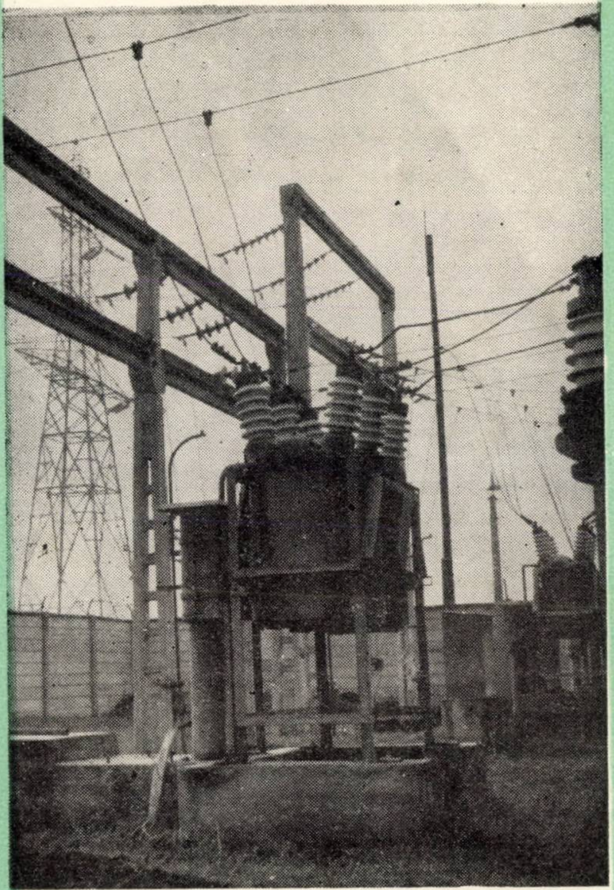
# I.E.C. ORADEA

CET Oradea, cu o putere totală instalată de 105 MW și dispunînd de trei cazane de apă fierbinte de cîte 100 Gcal/h, asigură necesitățile de energie electrică și căldură ale consumatorilor din municipiul Oradea și împrejurimi, la un înalt grad de siguranță și calitate.

CET Arad, CET Timișoara și CET Reșița furnizează căldură consumatorilor industriali și ridică gradul de siguranță în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor din zonele respective.

ÎNTREPRINDEREA ELECTROCENTRALE — ORADEA
ȘOS. BORȘULUI, km 5

ÎNTREPRINDEREA DE REȚELE ELECTRICE
Tg. Mureș, str. Elba nr. 3 — Tel. 5211



- transportă și distribuie energie electrică în rețele de înaltă, medie și joasă tensiune

*Execută:*

- verificări de aparate electrice de măsură și control în laboratorul PRAM
- lucrări de construcții-montaj la electrificări rurale și industriale și instalații interioare
- lucrări de întreținere la iluminatul public
- proiecte de instalații energetice

# I.R.E. TG. MUREȘ

ÎNTREPRINDEREA DE DISTRIBUŢIE
A ENERGIEI ELECTRICE BUCUREŞTI
Bd. 1 Mai nr. 41—43
*telefon* : 18.08.00

# IDEB

***PROIECTEAZĂ — EXECUTĂ — EXPLOATEAZĂ***

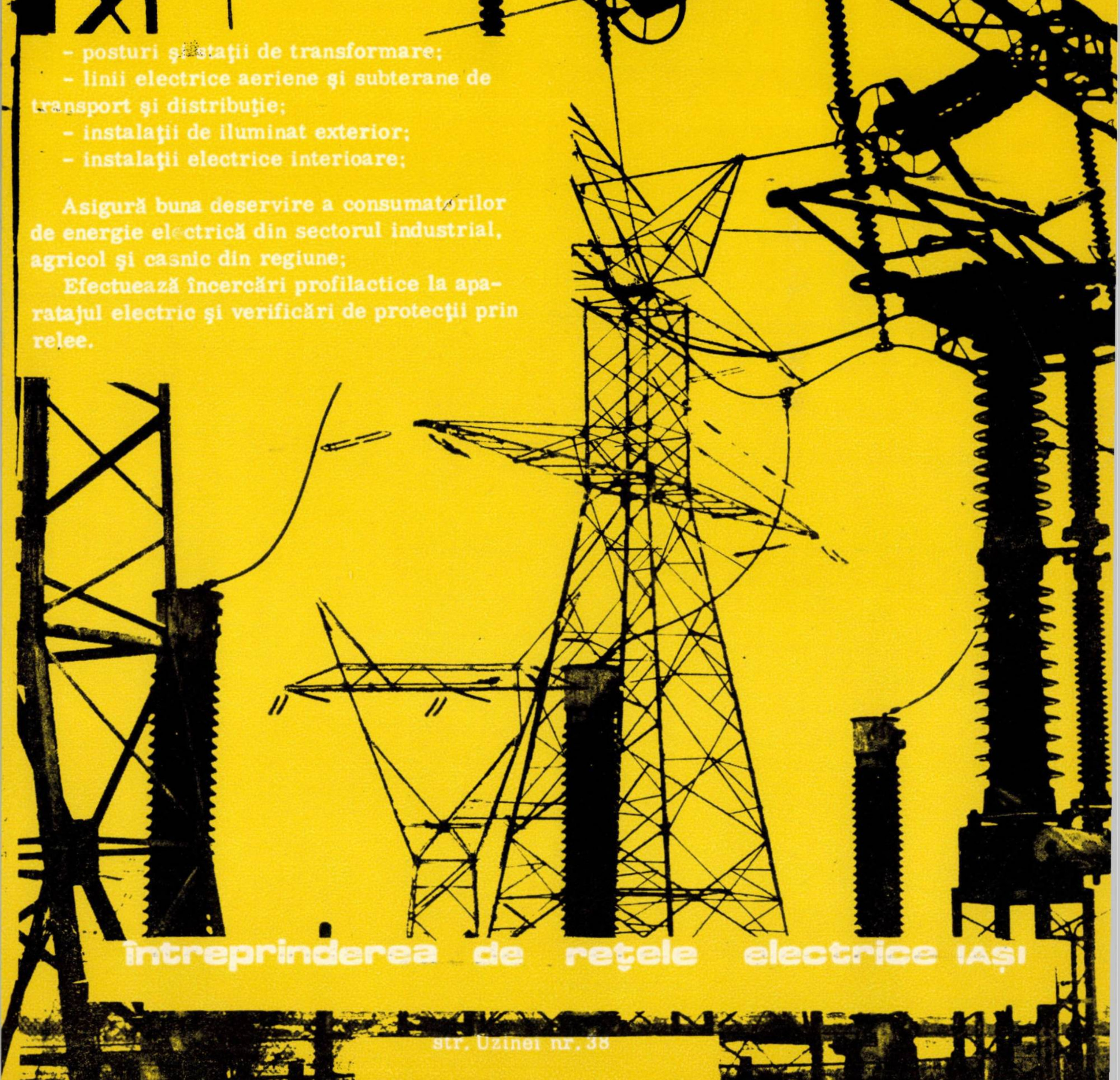
**— Instalaţii electrice necesare transportului, transformării, distribuţiei şi alimentării cu energie electrică a consumatorilor casnici şi industriali, iluminatului străzilor şi bulevardelor etc., de pe teritoriul Municipiului Bucureşti.**

**PRIN GRADUL RIDICAT DE TEHNICITATE, CALITATEA PROIECTELOR, EXECUŢIEI LUCRĂRILOR ŞI EXPLOATĂRII INSTALAŢIILOR, ALIMENTAREA CU ENERGIE ELECTRICĂ A CONSUMATORILOR SE FACE CONTINUU, ÎN CELE MAI BUNE CONDIŢII TEHNICE ŞI ECONOMICE.**

**— Pentru orice probleme legate de alimentarea cu energie electrică şi funcţionarea instalaţiilor electrice, adresaţi-vă cu încredere serviciilor de specialitate ale întreprinderii şi în mod special pentru :**

- *sporuri de putere pentru obiective industriale şi construcţii de orice fel*
- *studii şi proiecte pentru alimentarea cu energie electrică*
- *montarea şi verificarea agregatelor de măsură*
- *verificarea instalaţiilor electrice interioare şi a prizelor de pămînt*
- *furnizarea datelor necesare pentru stabilirea oportunităţii executării instalaţiilor de îmbunătăţire a factorului de putere*
- *asistenţa tehnică necesară la punerea în funcţiune a instalaţiilor de alimentare cu energie electrică*
- *remedierea deranjamentelor din reţeaua de alimentare*

# IRE * IAȘI



**Proiectează, execută și exploatează**

- posturi și stații de transformare;
- linii electrice aeriene și subterane de transport și distribuție;
- instalații de iluminat exterior;
- instalații electrice interioare;

Asigură buna deservire a consumatorilor de energie electrică din sectorul industrial, agricol și casnic din regiune;

Efectuează încercări profilactice la aparatajul electric și verificări de protecții prin relee.

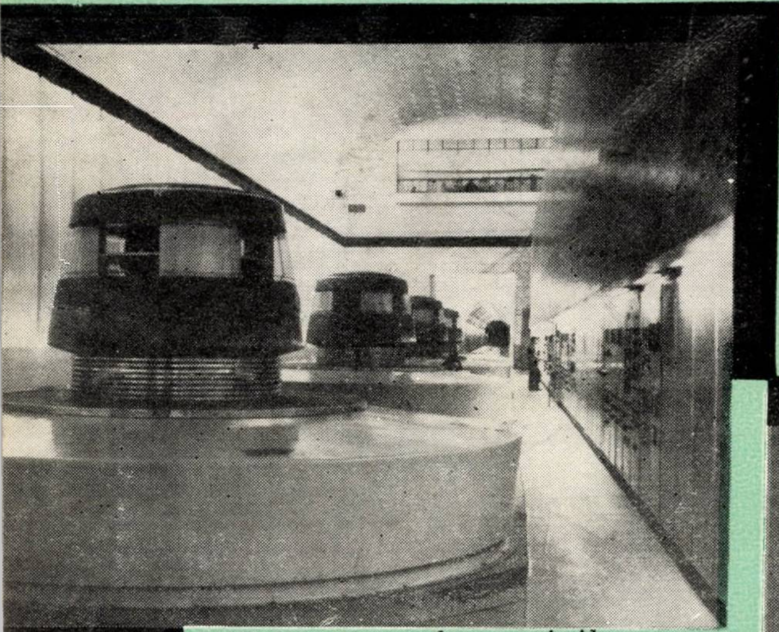
**Întreprinderea de rețele electrice IAȘI**

str. Uzinei nr. 38

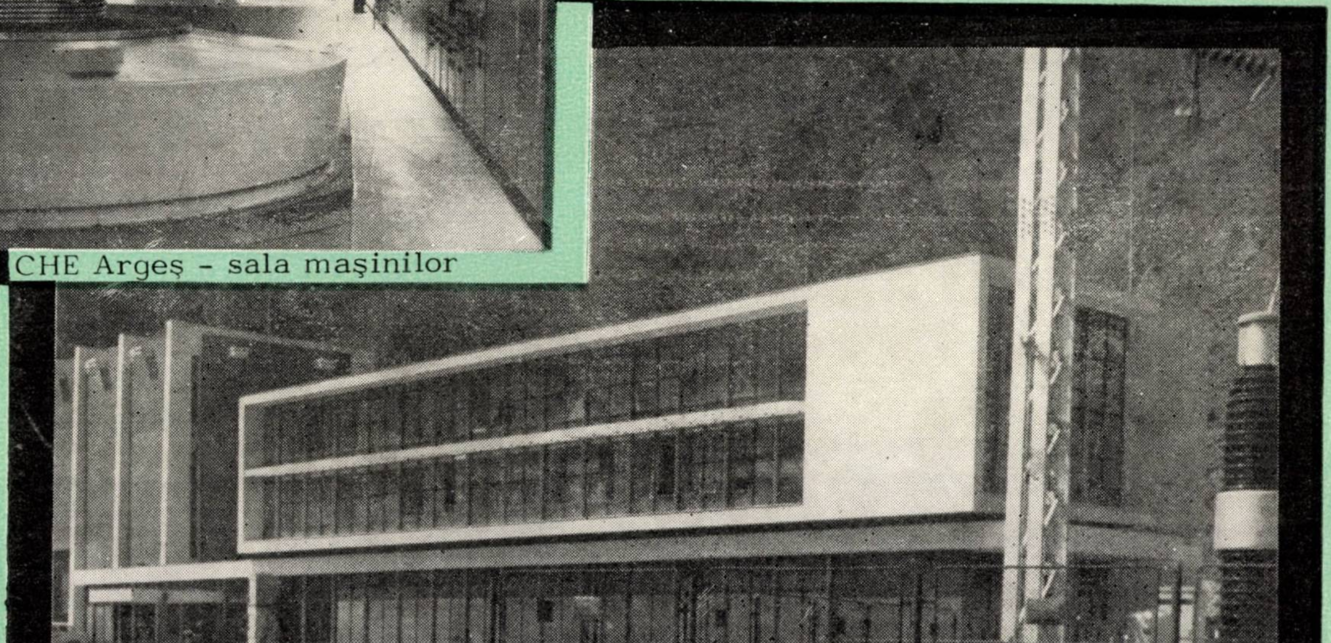
# I.C.H. RÎMNICU VÎLCEA

Centralele hidroelectrice ale ICH Rîmnicu Vîlcea furnizează energie electrică sistemului energetic național, fiind interconectate la acesta. Energia electrică furnizată asigură alimentarea cu energie electrică a consumatorilor industriali, agricoli și casnici din zonă.

Principala centrală – CHE Argeș – amenajată în subteran, are o putere instalată de 220 MW, în patru grupuri de 55 MW fiecare. Este automatizată și telemecanizată, asigurînd o funcționare continuă și energie electrică de calitate.



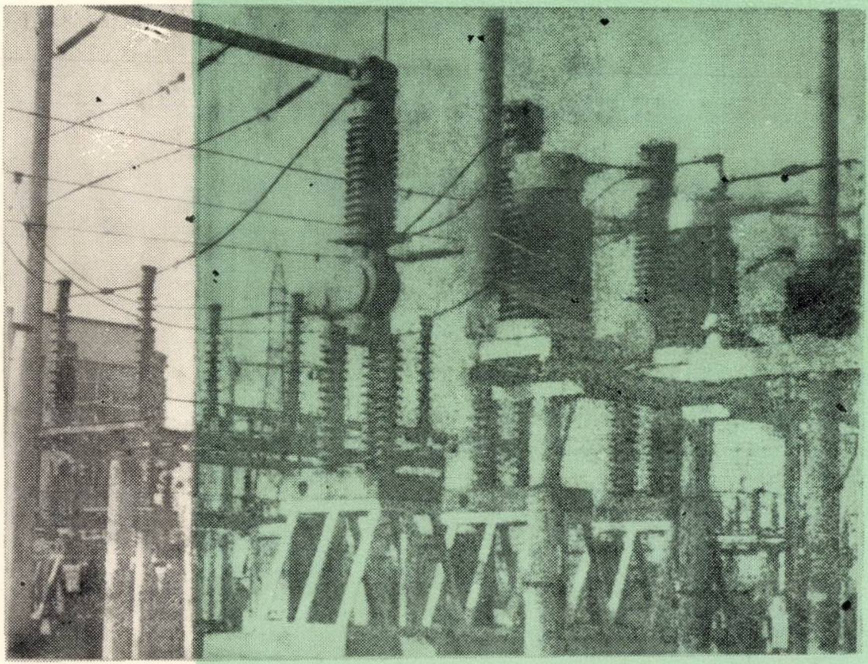
CHE Argeş - sala maşinilor



RÎMNICU VÎLCEA - Str.General Magheru nr.19

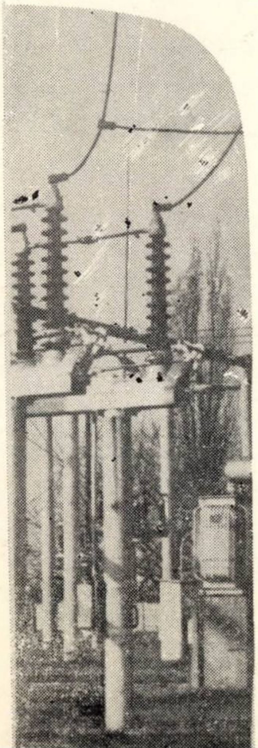
# i.r.e. bacău

Str. Karl Marx nr. 33
Telefon : 16 050



- Transportă şi distribuie energie electrică prin reţelele sale, alimentate din sistemul energetic naţional, asigurînd tuturor consumatorilor de energie electrică o bună deservire
- Proiectează reţele, staţii şi posturi de transformare, instalaţii interioare în mediul urban şi rural; instalaţii de iluminat exterior
- Execută reţele şi posturi de transformare
- Execută încercări profilactice la aparatajul electric şi verificări de protecţii prin relee
- Asigură buna deservire a consumatorilor de energie electrică din sectorul industrial, agricol şi casnic din zonă
- Execută verificări de aparate electrice de măsură şi control în laboratorul PRAM.

- Adresaţi-vă serviciilor de specialitate ale întreprinderii, care vă stau la dispoziţie pentru rezolvarea în cele mai bune condiţii tehnice şi economice şi tuturor problemelor privind alimentarea cu energie electrică.



**ÎNTREPRINDEREA DE REŢELE ELECTRICE BACĂU,**

**întreprinderea de reţele electrice CRAIOVA**

Str. Brestei nr. 5

Transportă şi distribuie energie electrică, în reţele electrice de joasă, medie, înaltă şi foarte înaltă tensiune, asigurînd buna deservire a consumatorilor de energie electrică din sectorul industrial, agricol, feroviar şi casnic din regiune.

Execută:

- linii electrice de 6, 15 şi 35 kV
- linii electrice de joasă tensiune pentru electrificări urbane şi rurale
- posturi şi staţii de transformare
- instalaţii electrice interioare şi branşamente
- reparaţii şi verificări de transformatoare de forţă
- reparaţii şi verificări de aparate electrice de măsură şi control, prin laboratoarele proprii PRAM

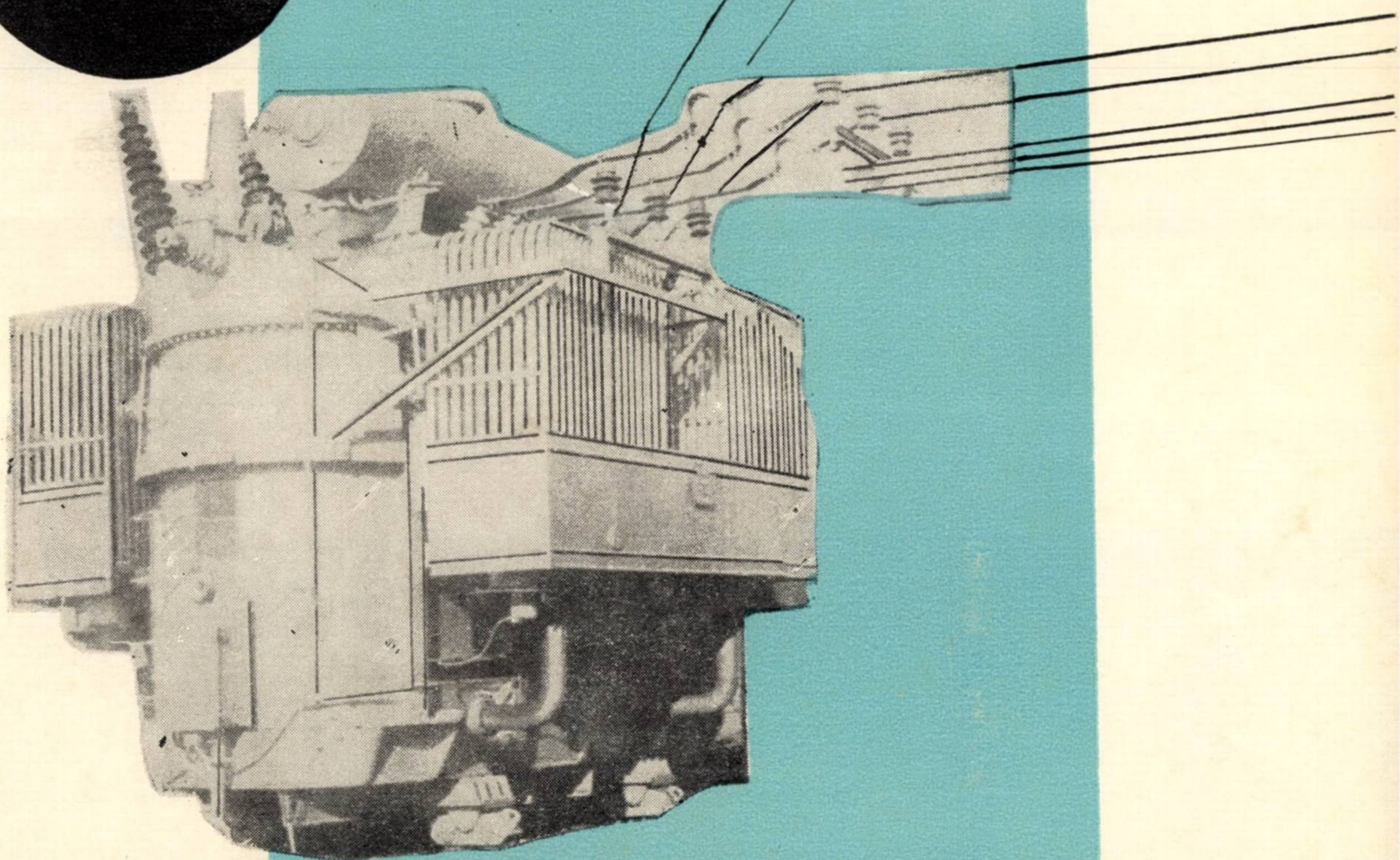
**Intocmeşte:**

- **studii tehnico-economice pentru lucrări noi şi îmbunătăţirea instalaţiilor existente**
- **proiecte de execuţie pentru linii aeriene şi subterane, posturi şi staţii de transformare, instalaţii de iluminat exterior.**

MŰSZAKI KÖNYVTÁR ÉS DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT 1983 ORSZÁGOS

# I.R.E. CRAIOVA

I.E.M cluj



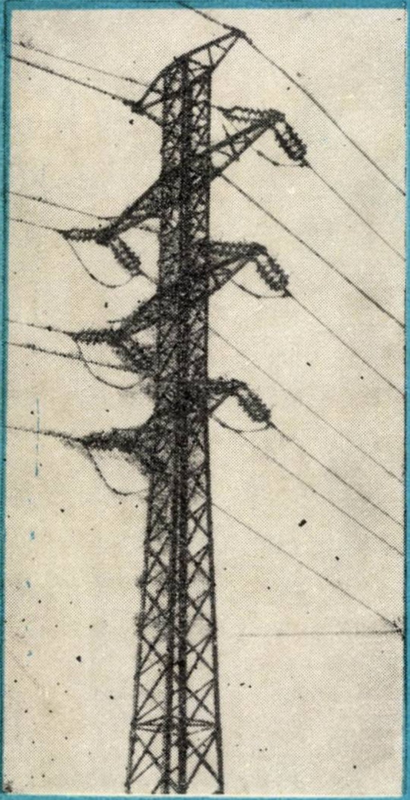
EXECUTĂ :

- linii electrice de transport pentru tensiuni pînă la 400 kV.
- linii electrice de distribuţie,
- reţele electrice în cablu subteran pînă la 35 kV,
- staţii de distribuţie şi posturi de transformare,
- clădiri pentru staţii şi posturi de transformare

ÎNTREPRINDEREA ELECTROMONTAJ CLUJ
Str. 30 Decembrie nr. 27

# IRE SUCEAVA

ÎNTREPRINDEREA DE REȚELE
ELECTRICE SUCEAVA
Str. 23 August nr. 1



*proiectează, execută și exploatează :*

— posturi și stații de transformare
— linii electrice aeriene și subterane de transport și distribuție
— instalații de iluminat exterior
— instalații electrice interioare

*execută :*

încercări profilactice la aparatajul electric și verificări de protecții prin relee

*asigură :*

buna deservire a consumatorilor de energie electrică din sectorul industrial, agricol și casnic din regiune

ÎNTREPRINDEREA

# energoconstrucţia

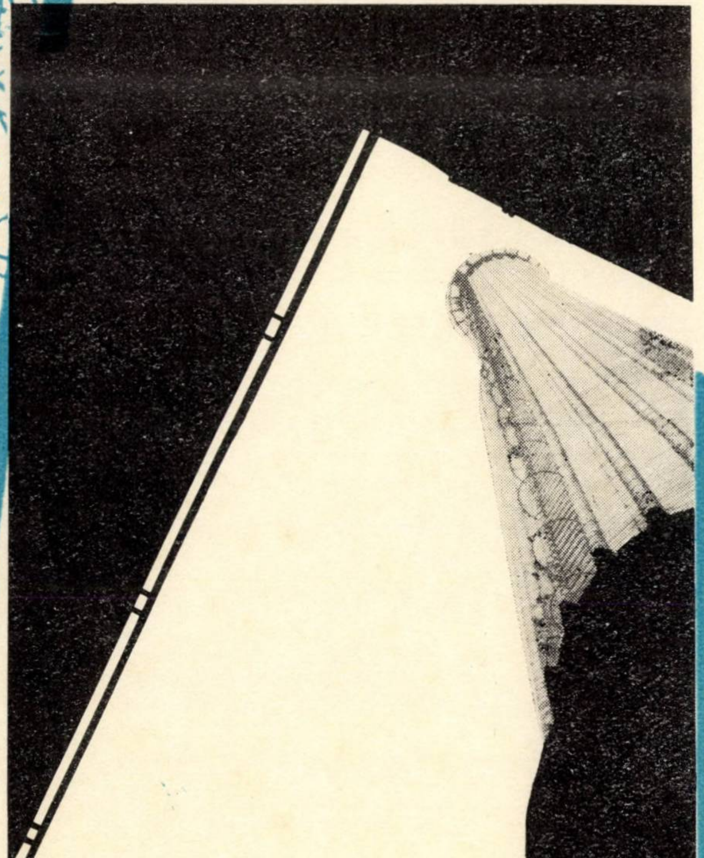
BUCUREŞTI

EXECUTĂ LUCRĂRI DE CONSTRUCŢII ENERGETICE :

- Centrale termoelectrice
- Termoficări urbane şi industriale
- Construcţii hidrotehnice aferente centralelor termoelectrice
- Amenajări constructive pentru staţii de transformare de 110, 220, 400 kV
- Coşuri de fum cu înălţimi pînă la 250 m
- Turnuri de răcire cu tiraj natural şi tiraj forţat

LA EXECUTAREA LUCRĂRILOR SE FOLOSESC CELE MAI MODERNE METODE ŞI PROCEDEE TEHNOLOGICE :

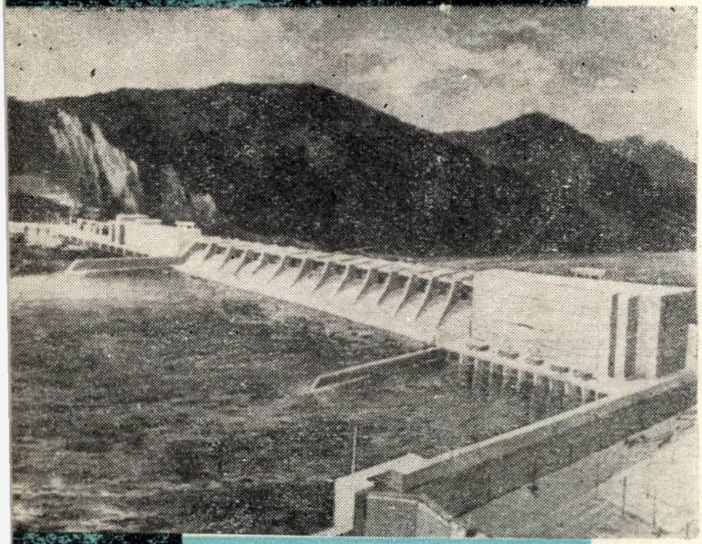
- **Glisări de structuri spaţiale şi plane din beton armat**
- **Glisări de coşuri de fum**
- **Montare de prefabricate grele din beton armat**
- **Structuri metalice**



**ÎNTREPRINDEREA ENERGOCONSTRUCŢIA — BUCUREŞTI**

**Cal. Dorobanţilor 105**

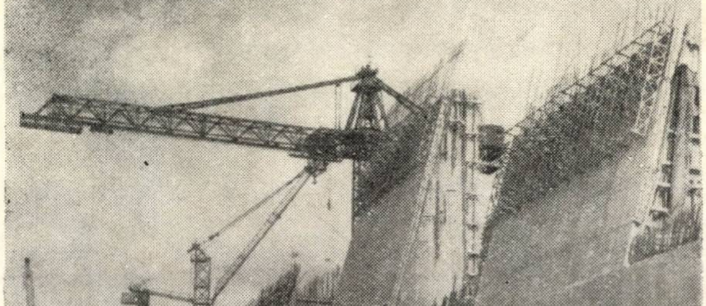
ICH
bucurești



INTREPRINDEREA DE CONSTRUCȚII HIDROENERGETICE - BUCUREȘTI

EXECUTĂ :

. Baraje de toate genurile
. Centrale hidroelectrice subterane şi de suprafaţă
. Castele de echilibru
. Ecluze
. Tuneluri şi galerii hidrotehnice
. Canale şi diguri
. Amenajări pentru alimentarea cu apă a marilor industrii
. Complexe pentru producerea agregatelor de betoane



I. C. H. - BUCUREȘTI
Str. Dimitrie Onciul nr. 23-25
Telefon : 35. 54. 70
Telex : INCOHIDROEN 011 - 244
Bucureşti 3

INTREPRINDEREA

# Energomontaj

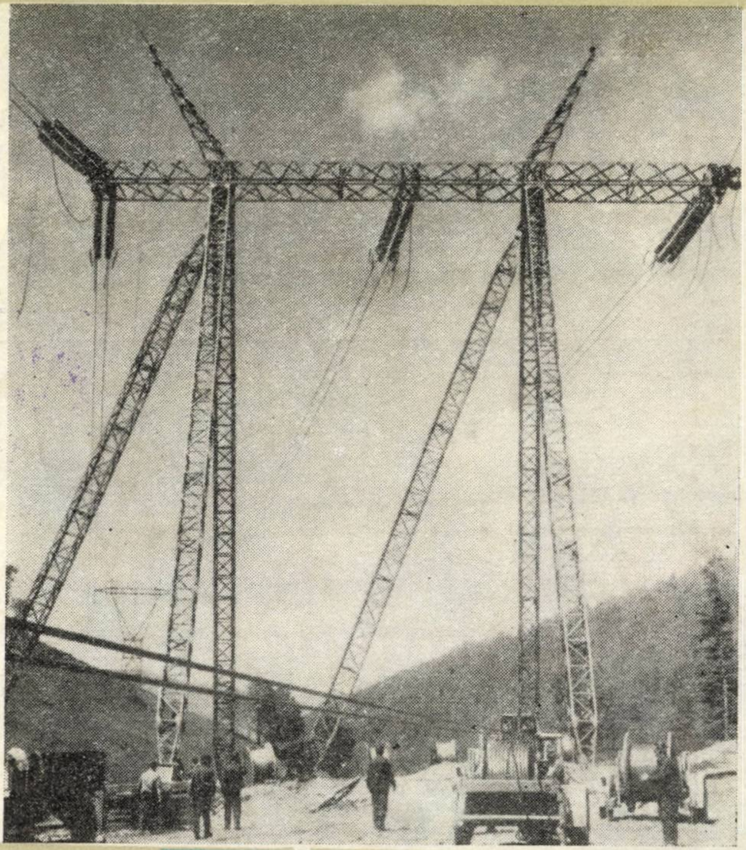
EXECUTĂ LUCRĂRI DE MONTAJ
PENTRU CENTRALE ELECTRICE

Cazane de abur cu parametri ridicaţi, 500—640 t abur/h
Turbine cu abur, de la 5 MW la 315 MW
Turbine cu gaze
Turbine hidraulice, de la 5,5 MW la 170 MW

Compensatoare sincrone
Instalaţii electrice de joasă, înaltă şi foarte înaltă tensiune
Instalaţii de măsură, control şi automatizare

Întreprinderea Energomontaj
Bucureşti, Cal. Dorobanţilor nr. 105

# TEM



Produce prin unităţile sale industriale:

— Stîlpi metalici pentru linii electrice aeriene de înaltă şi foarte înaltă tensiune în construcţie sudată sau bulonată zincată;
— Stîlpi de beton armat centrifugat sau vibrat pentru linii electrice aeriene de înaltă, medie şi joasă tensiune;
— Panouri de comandă, măsură, protecţie şi semnalizare pentru centrale şi staţii electrice;
— Celule prefabricate de tip deschis pînă la 20 kV şi 250 A;
— Posturi de transformare urbane şi rurale complet prefabricate pînă la 20 kV şi 630 kVA;
— Diverse prefabricate pentru centrale electrice, staţii, posturi de transformare şi linii electrice de transport şi distribuţie.

Execută prin unităţile sale de construcţii:

— Staţii electrice pînă la 400 kV şi posturi de transformare de orice mărime şi pentru orice raport de transformare;
— Linii electrice aeriene de transport şi distribuţie pentru tensiuni pînă la 400 kV;
— Linii electrice de distribuţie în cablu de înaltă medie şi joasă tensiune;
— Electrificări rurale;
— Instalaţii de iluminat public.

1972 MAJ 17

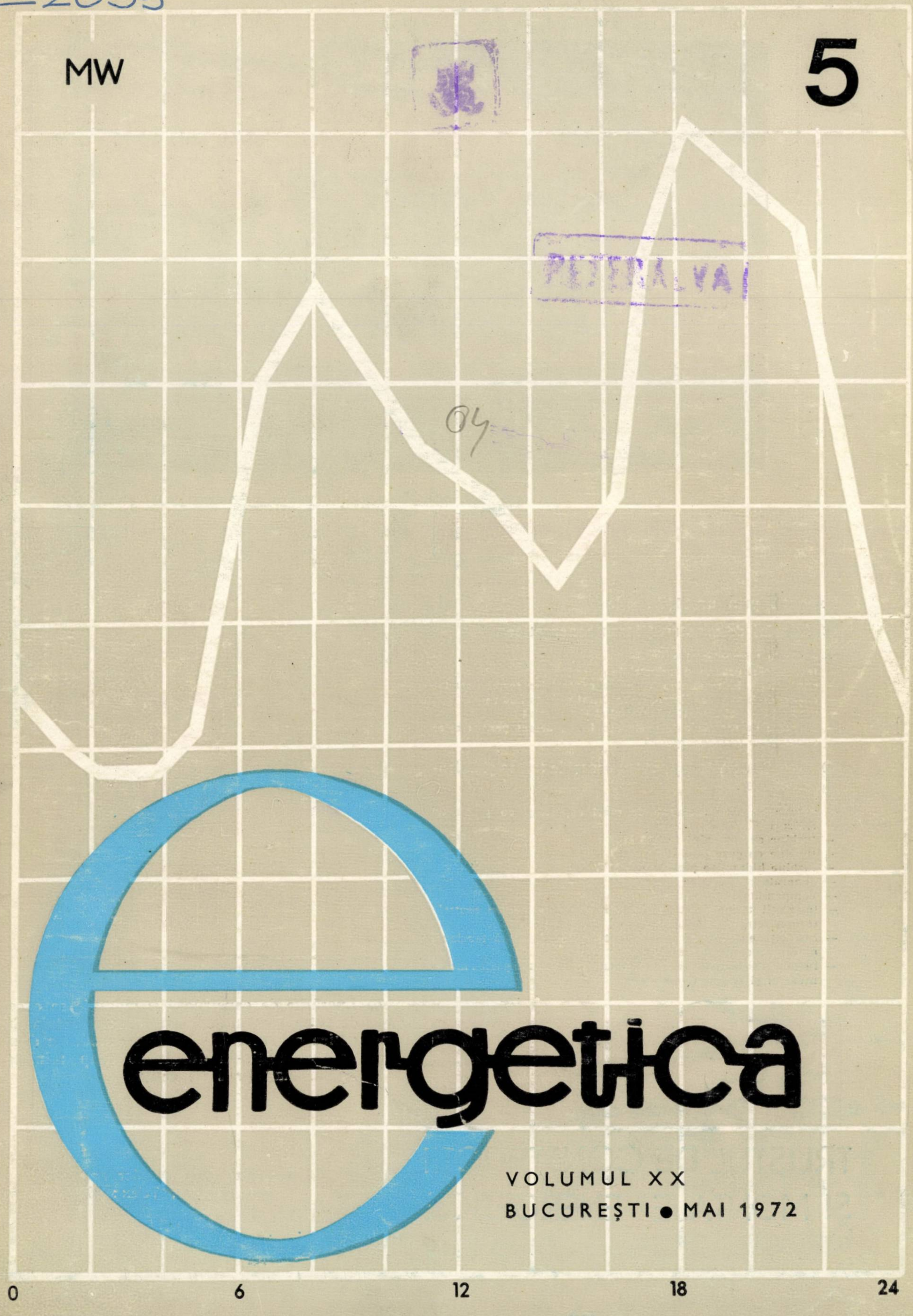
*La executarea produselor industriale şi a instalaţiilor electrice, Trustul Electromontaj foloseşte procedee tehnologice moderne de mare productivitate, care conduc la durate scurte de execuţie şi la un înalt nivel calitativ al lucrărilor şi produselor.*

## TRUSTUL ELECTROMONTAJ

BUCUREŞTI

CALEA MOŞILOR Nr. 158
telefon: 16.63.30., telex TRELMONTAJ — 271

E2039

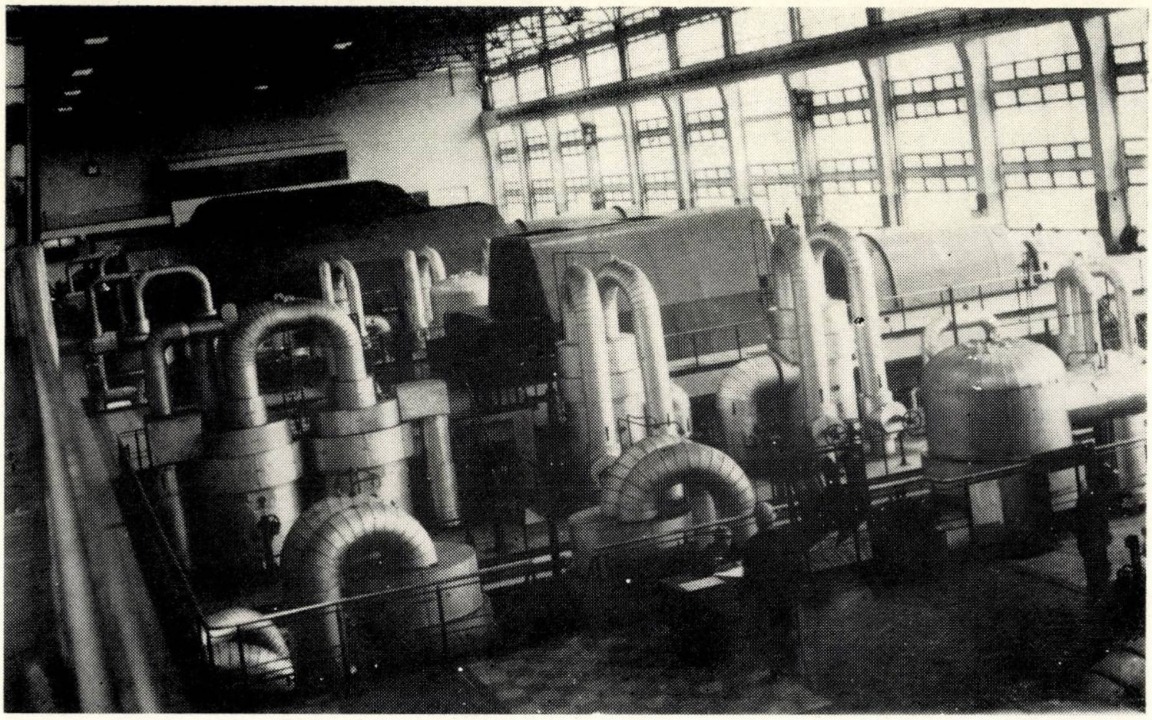



5

# energetica

VOLUMUL XX
BUCUREȘTI • MAI 1972

PETERALVAI



Execută prin unităţile sale :

● **Lucrări de construcţii termoenergetice :**

- centrale termoelectrice
- termoficări urbane şi industriale
- construcţii hidrotehnice aferente centralelor termoelectrice
- coşuri de fum prin glisare, cu înălţimi pînă la 250 m
- turnuri de răcire cu tiraj natural şi tiraj forţat
- montaje de prefabricate grele din beton armat pentru orice construcţie termoenergetică

● **Lucrări de montaj pentru centrale termo şi hidroelectrice :**

- cazane de abur moderne de mari capacităţi cu parametri ridicaţi
- turbine cu abur pînă la 345 MW
- turbine cu gaze pînă la 35 MW
- turbine hidraulice pînă la 176 MW
- generatoare electrice
- compensatoare sincrone
- instalaţii termomecanice şi hidromecanice pentru centrale termoelectrice şi hidroelectrice
- instalaţii electrice de joasă, înaltă şi foarte înaltă tensiune, aferente centralelor electrice
- instalaţii de măsură, control, automatizare, atît la partea mecanică cît şi la partea electrică.

# TCME

● **Lucrările de construcţii şi montaje se execută de către Trustul de Construcţii şi Montaje Energetice prin metode tehnologice moderne de mare productivităţi, în durate de timp minime şi la un înalt grad de calitate.**

## TRUSTUL DE CONSTRUCŢII ŞI MONTAJE ENERGETICE

Bucureşti, Calea Moşilor nr. 158
Tel. 16.63.30, Telex : 271

# ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 20 Nr. 5 MAI

SZAKKÖNYVTÁR DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT 1983

## Cuprinsul


| | | Pag. |
|---|---|---|
| *Dimo Paul* | **Concepte noi în analiza reţelelor de energie. Analiza în timp real** | 177–183 |
| *Berbece, C. şi Şerban, R.* | **Alegerea funcţiilor unor caracteristici energetice în vederea programării pe un calculator numeric de mică capacitate (MCC-200)** | 183–189 |
| *Grigoriu, V.* | **Soluţii moderne de realizare a instalaţiilor de producere a curentului continuu în centralele şi staţiile electrice** | 190–194 |
| *Potlog, D.M. şi Rugină, V.* | **O metodă de determinare a parametrilor motoarelor asincrone** | 194–197 |
| *Creţu, Gh.* | **Probele efectuate la grupurile de 60 şi 100 MW de la CET Galaţi** | 198–204 |
| *Mark, D.* | **Relaţii de calcul pentru optimizarea coordonării izolaţiei** | 204–206 |
| *Slăvescu, M. şi Cocarazna, G.* | **Sisteme de menţinere a vidului în condensatoarele turbinelor** | 207–211 |
| *Nicu, Vl.* | **Particularităţi ale schemelor termice în care funcţionează blocuri de mare putere** | 212–215 |

CRONICĂ

RECENZII


COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. univ. emerit ing. I. D. STĂNCESCU, redactor responsabil, ing. Gr. IORGULESCU, redactor responsabil adjunct, conf. ing. I. A. BADEA, ing. ST. BERENGHI, conf. ing. A. COGĂLNICEANU, dr. ing. P. DIMO, membru corespondent al Academiei Republicii Socialiste România, laureat al Premiului de Stat, ing. H. FURTUNESCU, ing. P. IFTIME, ing. L. LUCA, ing. B. MARCU, dr. ing. A. MĂCRIŞ, conf. ing. C. MIHĂILEANU, prof. dr. ing. V. I. NIŢU, ing. A. SPÎNU, ing. R. ZANE

OFICIUL DE DOCUMENTARE ENERGETICĂ

**INSTITUTUL DE STUDII ŞI PROIECTĂRI ENERGETICE** (L'Institut d'Études et de Projets Énergétiques), organisme de spécialité du Ministère de l'Énergie Électrique, exécute des études et des projets nécessaires à la réalisation des plans d'électrification, à l'extension et à la modernisation des installations énergétiques existantes, au fonctionnement en conditions économiques et de sécurité des réseaux électriques

- établit des projets techniques et d'exécution pour centrales thermiques et centrales à production combinée chaleur/force, postes d'interconnexions et de transformateurs, lignes électriques de transport et de distribution
- accorde assistance technique pour la réalisation des projets au paramètres projetés
- exécute des études d'électrification, conformément aux données de terrain: topographiques, géologiques, géotechniques et des études techniques et économiques pour la fondamentation des investissements énergétiques de tout genre
- établit les plans d'électrification courante et de perspective pour des pays, régions ou villes
- établit les projets des installations et des réseaux de chauffage pour utilisations urbaines et industrielles
- élabore des études concernant l'établissement des régimes de fonctionnement et de sécurité des réseaux électriques
- élabore des études méthodologiques et algorithmes de calcul et effectue, par ses installations modernes, tous les calculs nécessaires pour la résolution de différents problèmes d'études et de projets du domaine des réseaux électriques ou des élements de ceux-ci

**INSTITUTUL DE STUDII ŞI PROIECTĂRI ENERGETICE** (The Institute for Power Studies and Designs), the specialised body of the Ministry of Electric Energy, carries out studies and designs required for the achievement of the electrification plans, the extension and modernization of the existing power equipment, and for the electric networks operation in economic and safety conditions

— draws up technical and construction designs for thermal power plants and combined heat and power plants, substations and transformer posts, transmission and distribution lines
— lends technical assistance for achieving the designs at the designed parameters
— carries out electrification studies based on field data such as surveying, geological and geotechnical data, and technical and economical studies in order to justify the power investments of any kind
— draws up current and prospective electrification plans for countries, regions and towns
— designs equipment and heat networks for urban and industrial purposes
— elaborates studies for establishing the power regime and safety operation
— elaborates methodological studies and computing algorithms and carries out on its modern equipment the computations required for solving different studies and design problems in the field of electric networks and their elements

*Collabore avec des entreprises et organisations étrangères pour des travaux de spécialité et accorde sur demande tout service de specialité dans le domaine énergétique.*

*Cooperates with foreign firms and organizations for specialised works and gives, on demand, all kind of engineering assistance in the power industry field.*

*BUCUREŞTI.*
*Bd. Lacul Tei nr. 1,*
*Tel. 12.19.70, 12.71.41*
*Telex. 011.177*

# INSTITUTUL DE STUDII ŞI PROIECTĂRI ENERGETIC

## СОДЕРЖАНИЕ


ДК 621.316.1.001.2;681.3

*Димо, П.:* **Новые понятия, принятые при анализе энергетических сетей. Непрерывный анализ**

Представлены определенные новые понятия и вопросы, появившиеся одновременно с применением ЭВМ (on–line) и предложения по ориентировке исследований в новом развитии.

Energetica 20 (1972), No. 5, стр. 177–183

---

DK 536.7 :621.18:621.165 :681.32

*Бербече, К.* и *Шербан, Р.:* **Использование функций энергетических характеристик для программирования, применительно к ЭВМ тип МКК-200**

Рассматриваются основные соотношения по определению величин состояния пара и по расчету коррекци для котлов и турбин на электростанциях с агрегатами мощностью 50 и 420 т/ч.

Energetica 20 (1972) No. 5, стр. 183–189

---

DK 621.313.32

*Григориу, В.:* **Современные методы выполнения установок для выработки постоянного тока на электрических станциях и подстанциях**

Выбор схем установок постоянного тока для зарядки аккумуляторов на электрических станциях и подстанциях с учетом последних достижений по выпрямителям особенно в области их автоматизации.

Energetica 20 (1972) No. 5. стр. 190–194

---

DK 621.313.333:517.1

*Потлог, Д. М.* и *Руджина, В.:* **Метод определения параметров асинхронных моторов**

Рассматривается метод математического моделирования асинхронного мотора требующий только знания некоторых параметров машины, легко получаемых измерениями в стационарном режиме работы.

Energetica 20 (1972) No. 5, стр. 194–197

---

DK 621.165.001.5:621.311.22

*Крецу, Г.:* **Проведение испытания по агрегатам мощностью 60 и 100 Мвт на ТЭЦ Галац**

Учитывая что вопрос питания электроэнергией ведущих потребителей металлургических комбинатов недостаточно освещен в технической литературе, автор предлагает представить результаты проведенных испытаний.

Energetica 20 (1972) No. 5. стр. 198–204

---

DK 621.315.6

*Марк, Д.:* **Расчетные соотношения для оптимизации координации уровней изоляций**

Рассматриваются математические вопросы координации уровней изоляций в нормальном и переходящем режимах работы (атмосферные и коммутационные перенапряжения).

Energetica 20 (1972) No. 5. стр. 204–206

---

DK 621.175:621.165

*Слэвеску, М.* и *Кокаразна, К.:* **Системы поддержания вакуума в конденсаторах турбин**

Приводятся системы поддержания вакуума в конденсаторах турбин и подчеркиваются решения с паровым эжектором и вакуумным насосом, обеспечивающие значительное сокращение начальных расходов.

Energetica 20 (1972) No. 5. стр. 207–211

---

DK 621.165:621.17

*Нику, Вл.:* **Оссобенности тепловых схем для мощных блоков**

Рассматривается возможное влияние некоторых составляющих элементов тепловой трассы на мощность турбины, соответственно на расход тепла блока.

Energetica 20 (1972) No. 5. стр. 212–215


## INHALTSVERZEICHNIS


DK 621.316.1.001.2:681.3

*Dimo, P.:* **Neue Auffassungen der Vervundnetzanalyse – Analyse in der tatsächlichen Zeit**

Es werden gewisse neue Auffassungen und Fragen erörtert, welche zugleich mit der Anwendung elektron'scher Rechner für die tatsächliche Zeit („on line") aufgetreten sind. In diesem Zusammenhang werden Vorschläge für die Ausrichtung der künftigen Forschungen geboten.

Energetica 20 (1972), H. 5, S. 177–183

---

DK 536.7:621.18:621.165:681.32

*Berbece, C.* und *Şerban, R.:* **Anpassung der Funktionen der energiewirtschaftlichen Parameter von Dampfkraftwätzen zwecks Programmierung mit Rechnern der Bautype MCC–200**

Es werden die wichtigsten Beziehungen für Ermittlung der Dampfustandsgrössen und Berechnung der Berichtigungen für 420 t/h-Kessel und 50-MW-Turbinen erörtert.

Energetica 20 (1972), H. 5, S. 183–189

---

DK 621.313.32

*Grigoriu, V.:* **Moderne Lösungen für Gleichstromanlagen in Kraftwerken und Schaltwarten**

Die Wahl der Schaltbilder von Gleichstromerzeugungsanlagen für Kraftwerke und Schaltwarten wird mit Rücksicht auf neueste Errungenschaften auf dem Gebiet der Batterielade-Gleichrichter und im besonderen deren Automatisierung untersucht.

Energetica 20 (1972), H. 5, S. 190–194

---

DK 621.313.333 :517.1

*Potlog, D.M.* und *Rugină, V.:* **Ein Verfahren für Ermittlung der Parameter von Synchron-motoren**

Es wird ein Verfahren für mathematische Modellierung asynchroner Motoren beschrieben, wobei lediglich die Kenntnis einiger vermittels Messungen in stationären Betriebsbedingungen leicht feststelbare Parameter erforderlich ist.

Energetica 20 (1972), H. 5, S. 194–197

---

DK 621.165.001 :621.311.22

*Creţu, Gh.:* **Versuche mit 60-und 100-MW-Sätzen im Industriekraftwerk Galaţi**

Fragen der Elektrizitätsversorgung anspruchsvoller Abnehmer innerhalb von Hüttenwerken sind im Schrifttum nicht ausreichend untersucht. Als Beitrag dazu bietet der Verfasser die Ergebnisse eines diesbezüglichen Versuchs.

Energetica 20 (1972), H. 5, S. 198–204

---

DK 621.315.6

*Mark, D.:* **Rechenmässige Beziehungen für Bestauslegung der Isolierungskoordinierung**

Mathematische Aspekte der Isolierungskoordinierung bei normalen und (infolge athmosphärischer oder Schaltungsüberspannungen) transitorischen Betriebsbedingungen werden untersucht.

Energetica 20 (1972), H. 5, S. 204–206

---

DK 621.175 :621.165

*Slăvescu, M.* und *Cocarazna, C.:* **Verfahren für Erhaltung des Vakuums in Dampfkondensatoren**

Es werden Vorrichtungen für Vakuumbeibehaltung in Kondensatoren von Dampfturbinen dargestellt, wobei, mit Hinblick auf die Drosselung der Anfangskosten im besonderen auf Dampfejektoren und Vakuumpumpen eingegangen wird.

Energetica 20 (1972), H. 5, S. 207–211

---

DK 621.165 :621.17

*Nicu, Vl.:* **Eigentümlichkeiten thermischer Schaltbilder von Turbinensätzen grosser Leistung**

Es wird der unberechenbare Einfluss einiger Bestandteile thermischer Schaltbilder auf die Turbinenleistung, beziehungsweise auf den Wärmeverbrauch der Turbinensätze untersucht.

Energetica 20 (1972), H. 5, S. 212–215

# SOMMAIRE

CD 621.316.1.001.2:681.3

*Dimo, P.* : **Nouvelles conceptions dans l'analyse des réseaux interconeceté — l'analyse dans le temps réel**

On présente quelques conceptions nouvelles et problèmes survenus simultanèment avec l'introductions des calculateurs électroniques dans le temps réel („on line"), avec suggestions concernant l'orientation future des recherches dans la nouvelle direction.

Energetica 20 (1972), no. 5, p. 177—183

CD 536.7:621.18:621.165:681.32

*Berbece, C.* et *Şerban, R.* : **Adaptation des fonctions des caractéristiques énergétiques pour programmation sur un calculateur MCC—200**

On présente les relations principales pour déterminer les grandeurs d'état de la vapeur et établir les corrections pour les chaudières et les tranches, dans des centrales équipées avec des unités de 50 MW, 420 t/h.

Energetica 20 (1972), no. 5, p. 183—189

CD 621.313.32

*Grigoriu, V.* : **Solutions modernes pour réaliser des installations de production du courant continu dans les centrales et postes électriques**

Le choix des schémas des installations de courant continu des centrales et postes électriques, compte-tenu des réalisations plus récentes regardant les redresseurs de chargement des batteries, particulièrement leur degré d'automation.

Energetica 20 (1972), no. 5, p. 190—194

CD 621.313.333:517.1

*Potlog, D. M.* et *Rugină, V.* : **Une méthode pour établir les paramètres des moteurs asynchrones**

Il s'agit d'une méthode de modèle mathématique du moteur asynchrone qui demande de connaître seulement quelques paramètres de la machine, faciles à obtenir par mesures sous régimes stationnaires.

Energetica 20 (1972), no. 5, p. 194—197

CD 621.165.001:621.311.22

*Creţu, Gh.* : **Essais effectués avec des machines à 60 et 100 MW dans la centrale à production combinée chaleur/force de Galaţi**

Etant donné que le problème de l'alimentation électrique de certains consommateurs exigeants dans les complexes métallurgiques n'est pas suffisamment élucidé dans la littérature de spécialité, l'auteur présente les résultats d'un essai.

Energetica 20 (1972), no. 5, p. 198—204

CD 621.315.6

*Mark, D.* : **Relations de calcul pour l'optimisation de la coordination de l'isolement**

Aspects mathématiques de la coordination de l'isolement sous régime de fonctionnement normal et régime transitoire (surtensions atmosphériques et de commutation).

Energetica 20 (1972), no. 5, p. 204—206

CD 621.175:621.165

*Slăvescu, M.* et *Cocarazna, C.* : **Systèmes servant à maintenir le vide dans les condenseurs des turbines**

Les auteurs présentent des systèmes pour maintenir le vide dans les condenseurs des turbines tout en insistant sur la solution avec éjecteur de vapeur et pompe à vide qui apporte une réduction significative des dépenses initiales.

Energetica 20 (1972), no. 5, p. 207—211

CD 621.165:621.17

*Nicu, Vl.* : **Particularités des schémas thermiques comprenant des tranches de haute puissance**

L'article s'occuppe de l'influence aléatoire de quelques éléments composant le circuit thermique sur la puissance de la turbine, à savoir sur la consommation de chaleur de la tranche.

Energetica 20 (1972), no. 5, p. 211—215

# CONTENS

DC 621.316.1.001.2:681.3

*Dimo, P.* : **New concepts of interconnected system analysis-on line analysis**

Some new concepts and problemes arrised together with the application of electronic computer in the real time ("on line") are discussed, with suggestions concerning the trend of future research work in the new evolution.

Energetica 20 (1972), nr. 5, p. 177—183

DC 536.7:621.18:621.165:681.32

*Berbece, C.* and *Şerban, R.* : **Adapting the functions of power characteristics to be programmed on a MCC—200 computing equipment**

Here are the main relations to establish steam state magnitudes and corections for boilers and units, in power plants equipped with 50 MW, 420 t/h sets.

Energetica 20 (1972), nr. 5, p. 183—189

DC 621.313.32

*Grigoriu, V.* : **Modern solutions to carry out D. C. supply installations in power stations and substations**

Selection of the diagrams of D.C. plants in power stations and substations, by considering the most recent results achieved by battery loading rectifiers, particularly as regards their degree of automation.

Energetica 20(1972), nr. 5, p. 190—194

DC 621.331.333:517.1

*Potlog, D. M.* and *Rugină, V.* : **A method used to establish the parameters of asynchronous motors**

This article presents a method for the mathematical modelling of an asynchronous motor using only some parameters easily obtained by measurements made under steady-state operation.

Energetica 20 (1972), nr. 5, p. 194—197

DC 621.165.001:621.311.22

*Creţu, Gh.* : **Tests made on 60 MW and 100 MW machines at Galaţi combined heat and power plant**

The problem of the power supply to some special consumers implanted on iron and steel combine platforms is not yet solved enough by the litterature, therefore the author presents the results of an experimental test.

Energetica 20 (1972), nr. 5, p. 198—204

DC 621.315.6

*Mark, D.* : **Calculation relations for the optimisation of the coordination of insulation**

Here are the mathematical aspects of the coordination of insulation under normal and transient operating conditions (atmospheric and commutation over-voltages).

Energetica 20 (1972), nr. 5, p. 204—206

DC 621.175:621.165

*Slăvescu, M.* and *Cocarazna, C.* : **Vacuum maintaining systems for turbine condensers**

The authors present various systems used to maintain vacuum in turbine condensers and insist on the one with vacuum pump and ejector as it brings a large cut-down of initial costs.

Energetica 20 (1972), nr.5, p. 207—211

DC 621.165:621.17

*Nicu, Vl.* : **Some particularities of thermal diagrams featuring high power units**

The random influence of some elements composing the thermal circuit on the power of the turbine, i.e. the heat consumption of the unit, is treated here.

Energetica 20 (1972), nr. 5, p. 211—215

# Concepte noi în analiza rețelelor de energie. Analiza în timp real

Paul Dimo*)

## 1. Introducere

Introducerea calculatoarelor electronice în conducerea sistemelor electroenergetice este în plină dezvoltare în momentul de față, cu avantaje evidente în funcționarea economică și mai ales cu siguranță sporită.

Această nouă evoluție a condus la o familie de probleme noi, teoretice, care pornesc de la posibilitatea ce se întrevede azi cu ajutorul calculatoarelor de a se obține în timp real elemente necesare caracterizării stărilor și organizării operațiilor ce rezultă ca necesare pentru siguranța sistemului și funcționarea economică. În general, dispoziția fizică de integrare a calculatoarelor pentru conducerea și reglarea unei rețele de energie poate fi făcută în două configurații [1]:

1.1. Configurație cu *un singur calculator* al întregului sistem (în cazul unei interconexiuni ce are deja instalate calculatoare, unul din calculatoarele unei zone preia calculele necesare întregului sistem interconectat).

1.2. Configurație cu *multicalculatoare*, în care fiecare zonă are calculatorul ei și preia o parte din calcule și analize, iar un calculator central preia rezultatele și stabilește caracterizarea și comenzile respective pentru ansamblu.

Indiferent de tipul instalației, problemele nou apărute se datoresc următoarelor împrejurări:

1.3. Necesitatea caracterizării complete a stărilor în timp real necesită modele matematice noi, care să permită o informare imediată, în special a stărilor de prealarmă sau alarmă, determinînd și probabilitatea consecințelor.

În acest domeniu se cer și urmările unor incidente posibile, pornind de la starea evaluată în timp real, chiar dacă această stare este „normală".

1.4. În al doilea rînd, pentru orice caracterizare în care pot interveni stări de alarmă, trebuie stabilite și acțiunile de corijare ce trebuie întreprinse, care, în general, s-ar cere integrate într-o cît mai completă automatizare.

1.5. În ceea ce privește caracterizarea stărilor, se poate afirma că la ora actuală se acceptă ideea împărțirii acestor stări în patru categorii [2], [3], [4]: normală, de prealarmă, de alarmă, de avarie.

Această împărțire nu are nimic absolut și ar putea fi considerată ca insuficientă, putînd fi mai departe diferențiată și îmbogățită. Totuși, în stadiul actual, oarecum incipient, al problemei, corespunde în totul orientării necesare. Pentru a putea însă integra stările chiar în aceste simple patru categorii, este nevoie în primul rînd pentru problemele de siguranță să se lămurească categoriile de incidente ce trebuie considerate, probabilitatea lor și răspunsul sistemului în cazul apariției acestor incidente. Și în această privință se poate considera că s-a ajuns oarecum la un consens general, care poate fi considerat bază de plecare pentru analizele în timp real.

*) Dr. docent ing. Paul Dimo, membru corespondent al Academiei R.S. România, consilier științific la ICENERG.

## 2. Incidentele

În general, se consideră ideea că orice sistem energetic trebuie să rămînă în final în stare „*normală*" dacă are loc un incident din categoriile de mai jos**):

a) Orice circuit principal ieșit din funcțiune (linii de interconexiune, linii interioare puternice ale unuia din subsisteme etc.).

b) Orice unitate generatoare (centrală sau grup puternic) ieșită din funcțiune.

c) Orice scurtcircuit trifazat, în orice punct al sistemului și în oricare din regimurile detectate în timp real.

d) Orice schimbare între un sistem vecin (neintegrat în calculul de supraveghere al interconexiunii respective) care conduce la o variație bruscă a puterilor sau altor mărimi (tensiuni, curenți) pe linia de interconexiune respectivă.

Pentru a stabili măsurile de aducere în stare normală „sigură", este necesar în primul rînd a defini din punct de vedere al siguranței această stare. Să enunțăm una din definiții care ni se pare printre cele mai interesante [5].

## 3. Definirea stării normale sigure și a celorlalte stări

Se poate defini starea normală sigură după cum urmează:

3.1. O stare normală a sistemului electroenergetic se poate numi „sigură" dacă în cazul unor incidente din categoriile *a*, *b*, *c* și *d*, enunțate la punctul 2, în noua stare staționară ce rezultă, sistemul rămîne normal în cazul unui al doilea incident din aceeași categorie *a*, *b*, *c*, *d* de mai sus.

Starea normală este, bineînțeles, aceea în care toți consumatorii sînt alimentați, cu păstrarea limitelor de tensiuni în noduri.

3.2. Dacă considerăm o asemenea definiție valabilă, atunci celelalte trei stări (prealarmă, alarmă și avarie) pot fi considerate astfel:

— starea de prealarmă poate fi considerată aceea în care al doilea incident din categoriile arătate va provoca întreruperea serviciului cu nealimentarea unei părți a consumatorilor;

**) Condițiile urmează, bineînțeles, a fi precizate cu detalii. Nu s-a considerat necesară în această prezentare generală o asemenea precizare.

— starea de alarmă este aceea în care un prim incident din categoriile arătate va provoca întreruperea serviciului;

— starea de avarie este, bineînţeles, aceea în care o parte din consumatori sînt nealimentaţi.

3.3. După cum am afirmat la punctul 1.5., împărţirea în aceste patru categorii ar putea apărea totuşi ca insuficientă. Sînt posibile subîmpărţiri care să delimiteze calitativ stări în interiorul celor patru categorii principale. Într-adevăr, consecinţele pot fi mult diferite calitativ, considerînd unele aspecte mai detaliate în legătură cu probabilitatea evenimentelor, cu volumul consumatorilor ce rezultă nealimentaţi, cu limitele tensiunilor în noduri, cu variaţia frecvenţei etc. Nu vom intra în această prezentare în asemenea detalii, deoarece căutăm în primul rînd punerea corectă a problemei pentru orientarea cercetărilor în acest complicat domeniu.

## 4. Calculul „on-line" pentru identificarea stărilor

Să enumerăm analizele ce ar trebui făcute „on-line", pornind de la regimul în timp real, pentru a identifica stările. Enunţurile vor fi făcute pentru cazul unor reţele interconectate (sisteme sau subsisteme ale unui acelaşi sistem).

4.1. În primul rînd este necesară, în fiecare moment, o cunoaştere exactă a regimului, adică a topologiei sistemului, a puterilor injectate de centrale, a circulaţiei de puteri pe liniile estimate ca principale, a puterilor consumate (şi bineînţeles produse) pe fiecare din subsisteme, nivelul tensiunilor în nodurile considerate principale, rezervele de putere cu amplasamentul lor etc. Această primă estimare se face azi la intervale de timp regulate (din 1/2 în 1/2 oră, de exemplu) şi în orice caz după o schimbare a topologiei sau o schimbare importantă a repartiţiei puterilor pe unităţile generatoare.

Această primă analiză este, bineînţeles, condiţionată de organizarea informaţiilor, tratarea şi circulaţia lor. Ea se efectuează de calculatorul principal al sistemului interconectat, instalat anume pentru supravegherea interconexiunii, sau poate fi preluată de unul din calculatoarele instalate în sistemele componente (sau subsisteme) în cazul cînd are capacitatea necesară. Rezultă că modelele matematice utilizate pentru această primă parte de identificare a regimului depind în mod esenţial de echipamentul de informare şi calcul existent deja în sistem la introducerea calculelor în timp real; în sistemele puternice şi avansate, de multe ori organizarea informaţiilor rezultă redondantă faţă de necesităţile nou apărute odată cu introducerea calculatoarelor. Metodele matematice de calcul al regimurilor rămîn în general cele cunoscute şi practicate pînă azi în calcule „off-line", cu unele simplificări şi aproximaţii în general decise de organizarea informaţiilor şi posibilităţile de simplificare (regiuni reprezentate prin echivalenţi, considerarea unor pseudoinformaţii etc.), dar cu păstrarea elementelor esenţiale necesare pentru evaluarea consecinţelor incidentelor arătate (*a*, *b*, *c*, *d*).

4.2. Odată regimul cunoscut, se determină repartiţia economică a puterii pe centralele sistemului, cu aproximarea rezervei necesare şi a aportului interconexiunilor.

4.3. De aici încolo încep greutăţile calculului „on-line", deoarece trebuie „caracterizat" regimul din punctul de vedere al siguranţei prin „simularea" incidentelor *a*, *b*, *c*, *d* arătate mai sus. Să le considerăm pe rînd:

a) *Intreruperea unei linii principale* conduce la un prim calcul, în care se controlează circulaţia pe celelalte linii afectate, care preiau sarcina liniei întrerupte. Dacă se constată o depăşire a limitei termice sau a unor limite convenţionale prestabilite pe baza unor estimaţii off-line, putem considera că ajungem în stare de „alarmă". Dacă limita nu este depăşită, se simulează un al doilea defect din categoriile *a*, *b*, *c* sau *d* şi, dacă consecinţele acestui al doilea defect nu conduc la întreruperea consumatorilor, se apreciază că regimul este *sigur*.

b) *Dispariţia unei unităţi generatoare.* La fel ca în cazul *a*, un prim calcul simulează noua stare, iar un al doilea, în care de rîndul acesta se introduc cele patru familii de incidente, va decide dacă regimul este sigur.

c) *Apariţia unui scurtcircuit trifazat* în orice punct al sistemului, plecînd de la regimul „on-line", rămîne problema cea mai complicată. Deocamdată, şi în acest caz, după o evaluare a stărilor posibile rezultante — şi pot fi mai multe deoarece numai prima oscilaţie a regimurilor dinamice poate fi determinată cu oarecare exactitate —, se trece la simularea unor noi incidente din categoriile *a*, *b*, *c*, *d*.

d) *Schimbarea bruscă într-un sistem vecin*, la fel ca mai sus, necesită două categorii de simulări, a doua plecînd de la starea staţionară determinată în prima.

*

Dacă în dezvoltarea actuală a calculatoarelor se poate considera posibil orice calcul din categoria de mai sus pentru reţele dezvoltate în studii „off-line", problema apare de o mare complexitate atunci cînd este vorba de calcule „on-line", calcule care în plus trebuie să lămurească şi anumite stări fizice de detaliu ale sistemului pentru a permite luarea deciziilor de *restaurare* a stării normale. Aici nu mai este suficient a afirma că regimul este stabil sau nu, sau lămurirea consecinţelor incidentelor, ci ar trebui să rezultă clar şi situaţiile optime şi operative de restabilire a stării normale.

## 5. Analizele „off-line" ale căror rezultate sînt integrate în calculele „on-line"

Dacă calculul direct „on-line" al infinităţii de cazuri ce ar trebui simulate, aşa cum rezultă mai sus, nu poate fi făcut, soluţia care pare să se profileze azi, este aceea a *„indicatorilor"*. Un „indicator" sau un „indice" este un parametru care dă indicaţii prin valorile lui asupra stării sistemului, într-o anumită problemă. În toate cele patru cazuri de incidente arătate mai sus, problema ar fi rezolvată dacă calculul „on-line" trebuie să se limiteze la stabilirea unor indicatori simpli de calculat, plecînd de la regimul detectat în timp real, indicatori care să permită determinarea stărilor ce rezultă în urma unui incident, fără a recurge la calcule detaliate pentru un număr mare de cazuri concrete. Indicatorul este cu atît mai preţios cu cît :

— indică prin limitele lui consecinţele unui foarte mare număr de cazuri ce ar trebui calculate, dar care toate au aceeaşi natură şi comportă măsuri de restabilire, cînd este cazul, similare ;

— indică prin limitele lui, sau asociat unor calcule simple, cît mai exact ,cauzele stărilor proaste pentru orientarea deciziilor de restaurare ;

— în fine, indicatorul poate fi un grafic oarecare sau un desen obţinut pe ecranele instalaţiei „on-line", care permite o cît mai completă înţelegere a stărilor fizice multiple, introducerea unor raţionamente directe ale operatorilor în anumite cazuri, în vederea optimizării deciziilor de restaurare. Astfel de indicatori pot fi consideraţi, de exemplu : valorile tensiunilor în noduri, indicele $\frac{dQ}{dU}$ în nodurile principale, care indică depărtarea de o stare instabilă static, indicele $\frac{\Delta P}{M}$, care poate fi utilizat [10] în evaluarea dinamismului generatoarelor în cazul schimbărilor bruşte, în sistem, indicele $\Delta P_{\alpha\beta}$, care ar putea indica încărcarea în plus a liniei $\beta$ atunci cînd linia $\alpha$ a ieşit din circuit, indicele $\frac{P_r}{P}$ pentru o anumită porţiune de reţea ce generează puterea $P$ şi are o rezervă de putere turnantă $P_r$... etc. Ne-am oprit la această enumerare simplă numai în scopul înţelegerii uşoare a problemei. Aceşti indici, cu limitele fixate exclusiv de bogate calcule „off-line", pentru un anumit sistem, pot rezulta foarte numeroşi şi cu multiple serii de valori-limită corespunzătoare unui regim sau altul. Fiecare dintre ei dă anumite indicaţii şi orientări ; astfel, indicele stabilităţii statice $\left(\frac{dQ}{dU}\right)$ sau $\left(\frac{dP}{d\delta}\right)$ poate fi corelat în numeroase analize „off-line" în sistemul respectiv cu regimul dinamic ce poate surveni în urma incidentelor, sau anumite stări posibile finale, consecinţă a unor schimbări de structură sau de repartiţie a puterilor pe centrale. În plus, ei trebuie să permită, cînd este cazul, asocierea lor în examinări de detaliu. În acest caz apar de mare interes „vizualizările" pe ecrane ale stărilor fizice pentru o orientare imediată a operatorilor. Numai astfel numărul de cazuri ce ar trebui eventual detaliate mai departe în examinarea „on-line" poate fi redus la esenţial.

În figura 1 se arată schema de calcul în corelarea analizelor „off-line" — „on-line". Indicatorii deduşi „on-line", cu limite valorice, sînt comparaţi de calculatorul „on-line" cu cei depozitaţi în memorie ca rezultat al unor calcule „off-line", pentru regimul comparabil cu cel în timp real. În afară de cele de mai sus, în calculele „on-line" se mai introduc unele simplificări, în special în cazul interconexiunilor foarte extinse.

## 6. Descompunerea sistemelor mari în subsisteme pentru calculul „on-line"

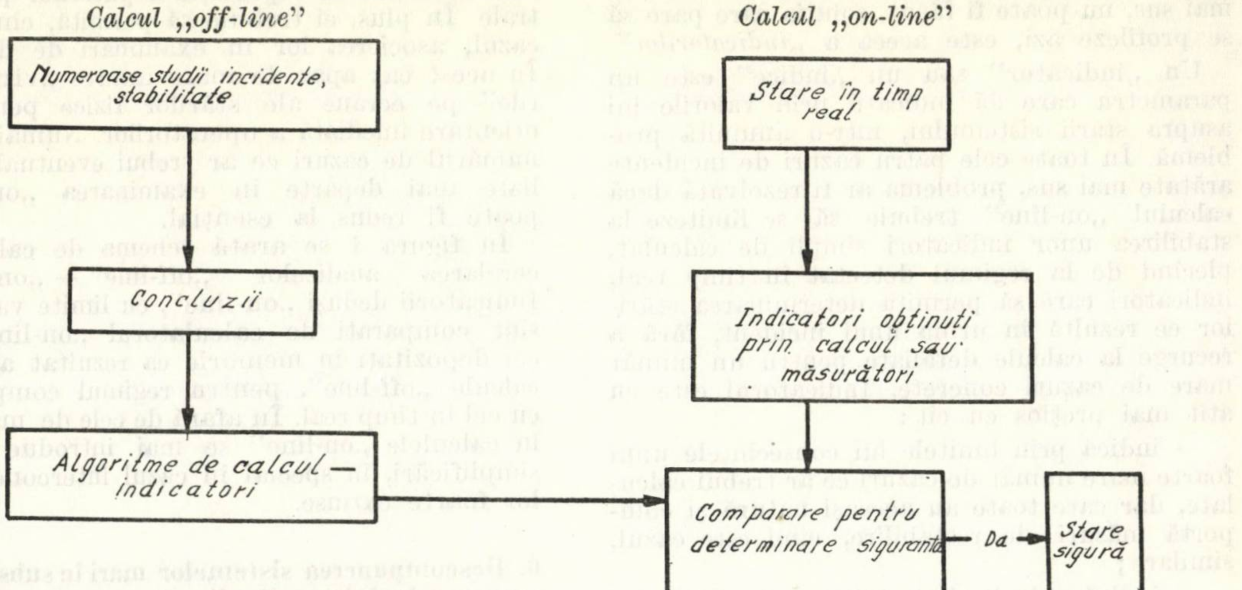
Atunci cînd un sistem energetic este format din subsisteme, care au fiecare calculatorul lor (multicalculatoare), este avantajos ca fiecare subsistem în parte să preia pentru zona respectivă o parte din calculele „on-line", iar calculatorul central să decidă măsurile necesare pentru funcţionarea economică şi sigură a întregului sistem. Pentru această operaţie se poate practica o descompunere a sistemului pe zonele aferente subsistemelor ; fiecare subsistem, pe de o parte, efectuează în interiorul lor analizele „on-line" necesare, dar în acelaşi timp furnizează calculatorului central un model redus la esenţial al subsistemului respectiv pentru regimul „on-line" respectiv, conţinînd numai informaţiile necesare măsurilor de interconectare economică şi sigură a întregului sistem rezultat. În general, subsistemele sînt reprezentate prin matrice reduse reprezentative ale reţelei respective.

Această nouă tehnică cîştigă mult teren în momentul de faţă nu numai în cazul marilor interconexiuni, dar şi în cazul unui singur sistem mai dezvoltat, în care descompunerea pe anumite regiuni conduce la o reducere a calculului „on-line" şi o claritate în plus în analiza stărilor simulate.

Pentru exemplificare vom arăta conceptele uneia dintre căile propuse şi utilizate în S.U.A. [6], care de fapt este o aplicaţie şi dezvoltare a conceptelor lui G. Kron din lucrările sale asupra „Diakopticii" (tăierea sistemului în bucăţi).

În această metodă, diferitele zone sînt reprezentate fiecare de un model matematic echiva-

lent dar redus, care este cel utilizat în deducerea coeficienţilor $B$ pentru evaluarea pierderilor. Se ştie că acest model conţine numai nodurile generatoare sau cele a căror putere injectată (sarcini) nu poate fi considerată „conformă” ţile analizei. Astfel, curenţii (sau puterile) din liniile de legătură pot fi exprimaţi exclusiv în funcţie de puterile injectate în nodurile generatoare ale fiecărei zone, puteri pentru care informaţiile în timp real sînt uşor obţi-




şi se obţine prin diverse transformări [8]. Se pleacă de la o primă transformare în care se concentrează sarcina într-un nod unic (axele de coordonate 2, aşa numite de G. Kron) şi se ajunge în final la eliminarea acestui ultim nod prin exprimarea condiţiei cu suma curenţilor nodurilor generatoare să fie egală cu curentul sarcinii unice (axele de coordonate 3 — G. Kron). Astfel, nodul sarcinii unice este eliminat din ecuaţia rezultată [8]. În cazul unor zone legate prin linii de interconexiune, se reţin în model nodurile generatoare principale (notate $g$ pe figura 2) şi nodurile (injecţiile) liniilor de legătură cu celelalte zone (notate $l$ pe figura 2) — se scrie matricea rezultată cu aspect diagonal din figura 2, în care sînt organizate matricele rezultate din calculul separat, pe zone, şi care nu au deci între ele influenţe mutuale (zonele nehaşurate pe figura 2 $a$ conţin termeni nuli). Figura 2 $a$ arată construcţia matricei rezultate pentru un sistem cu trei zone, $A$, $B$, $C$, astfel că această primă matrice nu reflectă faptul că zonele sînt interconectate. Modelul este completat cu matricea ($Z$ pe fig. 2 $b$) reprezentativă a structurii interzonale, care exprimă relaţiile dintre curenţii ce circulă pe liniile de legătură (injecţiile $l$ din modelele pe zonă), curenţi care apar de două ori în matricea din figura 2 $a$, deoarece apar în fiecare din sistemele ce au o linie de legătură între ele (cu semn schimbat).

Prin transformări de variabile şi exprimarea legilor fizice ce hotărăşte schimbul între zone, se deduce modelul matricial final. Acest model poate fi stabilit fie exprimînd ca variabile curenţi, fie exprimînd puteri, după necesită-

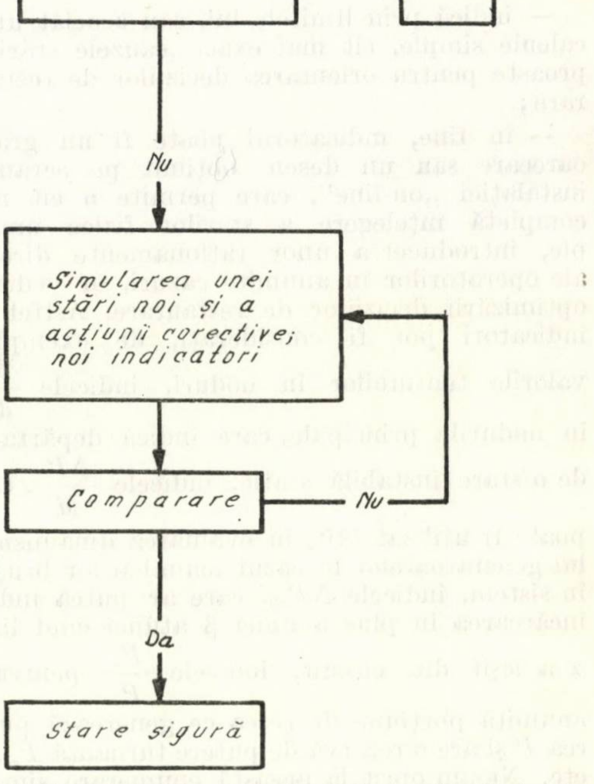



Fig. 1. Corelarea dintre analizele „on” şi „off-line” şi suita operaţiilor în timp real.

nute. De asemenea, pot fi reţinute ca variabile şi puterile sau curenţii ce circulă plecînd de la sistemul rezultat cuprinzînd zonele considerate, cu sisteme exterioare.

Bineînţeles că această reprezentare simplificată conţine o serie de aproximaţii (conformitatea sarcinii, integrarea unor noduri genera-

toare neimportante în sarcina totală şi alte aproximaţii ce se fac în deducerea matricei $B$-urilor, care în final poate rezulta simetrică). Se pare însă că aplicarea acestei căi a dus la rezultate satisfăcătoare din experienţa cîştigată mai mulţi ani în exploatări [9]. În orice caz, avantajele unei căi de această natură sînt evidente, deoarece pentru calcule în timp real se obţine:

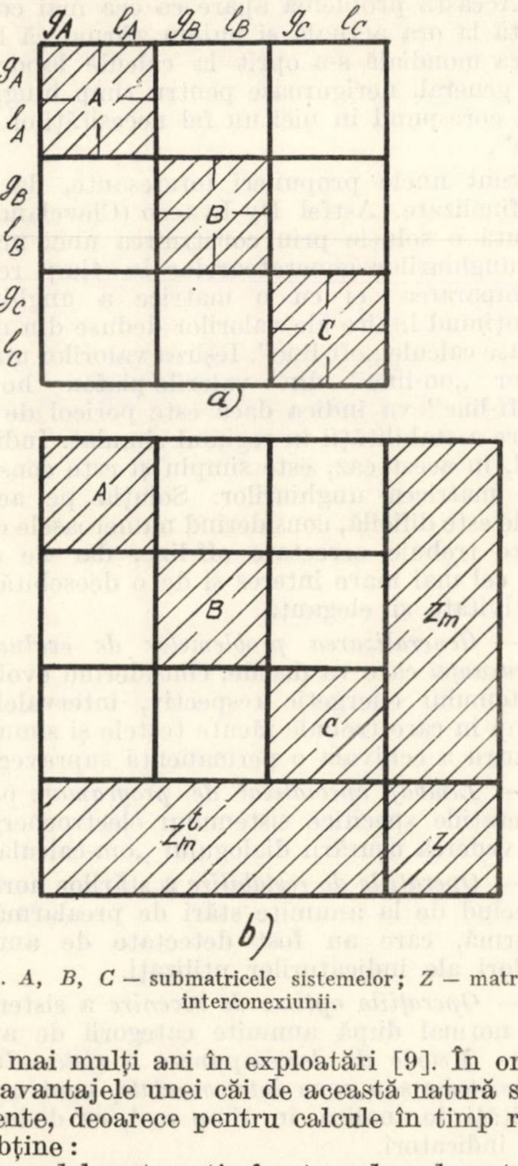



Fig. 2. $A$, $B$, $C$ — submatricele sistemelor; $Z$ — matricea interconexiunii.

— model matematic foarte redus, de natură a scurta calculul;

— informaţiile necesare calculului sînt reduse ca număr şi sînt totdeauna prezente la centrele de dispecer (puterile centralelor);

— consideră starea rezultată în timp real pornind de la elementele esenţiale şi aproximînd restul datelor;

— permite calculul repartiţiei economice considerînd şi pierderile de circulaţie (cu $B$-uri);

— conduce la determinarea mărimilor necesare caracterizării stărilor „on-line" simulate, prin faptul că permite un calcul rapid al schimbării cum ar fi: variaţia puterilor generate pe zone, lipsa unei linii, schimbări în sistemele exterioare cu care este interconectat sistemul rezultat etc. (vezi mai sus incidentele $a$, $b$ şi $d$). Nu dă soluţii şi indicatori în legătură cu incidentele de sub punctul $c$ (vezi pct. 5), pentru care deocamdată nu sînt soluţii general acceptate în literatura mondială, problema nefiind încă lămurită din cauza complexităţii ei, cu toată importanţa sa esenţială. După părerea noastră, un asemenea model completat ar putea da un prim răspuns de orientare şi la asemenea probleme, în care însă ar putea rezulta, pentru anumite cazuri, necesitatea unor calcule de completare mai detaliate. Aceste cazuri, mai rare, ar trebui să poată fi detectate tot „on-line"

Nu trebuie să uităm că în caracterizarea unui regim trebuie să intre şi împrejurările periculoase cu probabilitate mică, dar care prin apariţia lor conduc la adevărate catastrofe pe regiuni întinse (vezi defectul din reţeaua S.U.A. din 1965).

*

Mai trebuie adăugat că sînt propuneri pentru modele mai simple (de exemplu, calcule în curent continuu pentru determinarea circulaţiilor simulate în caz de accident). Am ales pentru examinarea problemei modelul de mai sus, care este deja aplicat şi care apare la ora actuală ca o cale unitară şi completă, cu un caracter general. Adăugăm că „analiza nodală", propusă de autor, se pretează în mod deosebit la o organizare pe aceleaşi principii, interconexiunea între zone putîndu-se reprezenta prin interconexiuni între echivalenţi REI de sistem (de preferinţă cu sarcină unică) care conduc la matrice reprezentative simetrice şi reduse, dar care conţin mărimile esenţiale [10]. Adoptînd această cale se pot obţine şi o serie de informaţii asupra incidentelor $c$ de mai sus, prin procedeele cunoscute, pe scheme REI, obţinînd şi „vizualizări" de stări cu indicatori simpli, ce ar putea facilita orientarea deciziilor atunci cînd este cazul. Vom reveni cu detalii într-o lucrare separată, scopul nostru fiind deocamdată de lămurire a punerii noilor probleme, în vederea orientării cercetărilor.

## 7. Noile probleme ale cercetării

Din cele arătate rezultă necesară o reluare în cercetare a principalelor probleme clasice ale reţelelor de energie datorită evoluţiei din ultimii ani a calculatoarelor electronice pentru o utilizare cît mai completă a posibilităţilor ce le oferă. Introducerea lor în controlul şi comanda în timp real impune o permanentă caracterizare a stărilor. În plus, în cazul unor stări ce trebuie schimbate, fiind periculoase, tot „creierul electronic" va decide şi indica măsurile necesare. Modelul vieţii şi al naturii rămîne mai departe sursa de inspiraţie.

Utilizarea „indicatorilor" prin care calculatorul „on-line" stabileşte o primă caracterizare aparţine de mult sistemului nostru de a ne orienta. Ştim că sîntem bolnavi sau sănătoşi din anumite indicaţii pe care ni le dau simplu simţurile noastre. Mai departe, temperatura anormală este un nou indicator al sănătăţii noastre, care în ştiinţa modernă este completat de o serie întreagă de alţi indicatori, lămuriţi din numeroase cercetări, cum ar fi pulsul, valorile anumitor substanţe ce se găsesc în sînge, rezultat al analizelor, sau anumite modificări ale stărilor prin care trecem (lipsă de somn, modificări ale vederii etc.). Diagnosticul se decide pe baza a asemenea numeroşi indicatori, iar nu pe baza unor examinări directe detaliate a fenomenelor fizice şi chimice, de o mare complexitate, care nu pot fi făcute.

Calculatorul „în timp real" poate uşor compara permanent anumite valori care au fost măsurate sau deduse prin calcul „on-line", cu valori memorate şi rezultate din bogate analize „off-line". *O primă activitate de cercetare se va axa pe lămurirea „indicatorilor" ce pot fi utilizaţi cu succes*, felul cum pot fi stabiliţi pentru un anumit sistem sau interconexiune extinsă. În afară de indicatorii cunoscuţi (valorile tensiunilor în noduri, valorile curenţilor ce circulă pe liniile principale etc.), sînt necesari o serie de alţi indicatori care să aibă calitatea de a fi uşor de stabilit „on-line" pe calculatoare de proces şi care să caracterizeze anumite stări posibile sau probabile fie în caz de incident, fie în caz de modificări ale regimului din care au fost deduşi. La această primă serie de cercetări se adaugă studiul mijloacelor noi, care pot fi introduse azi pentru relaţiile „operator-calculator". Afişarea valorilor pe ecrane, utilizarea imaginilor, a creionului luminos, cu introducerea pe planşe „electroluminiscente", prezentări pe ecrane catodice, sau tip televizor, în alb-negru şi culori, sînt toate noi mijloace ce trebuie considerate în perspectiva organizării conducerii reţelelor de energie şi în studiile de tip nou ce vom întreprinde. Vom încerca deocamdată să enumerăm mai jos o serie de studii ce ne apar de primă actualitate în legătură cu noua evoluţie şi care trebuie abordate sau reluate din punctele de vedere ce rezultă în noile condiţii.

— *Analiza stabilităţii sistemului* redevine o problemă de mare actualitate. Calculele „off-line" vor lămuri indicii posibili în anumite evoluţii. Caracterizarea primei oscilaţii, care poate fi mai uşor evaluată, redevine foarte actuală şi va trebui apreciată în multiplele situaţii simulate pe viu ce ar putea rezulta conform listei bogate a incidentelor (vezi pct. 2) posibile şi combinaţiilor dintre ele.

O cale de determinare a stării finale staţionare la care se ajunge în urma unui incident, problemă de o deosebită complexitate, va trebui de asemenea găsită cu aproximaţii permise (se ştie că nu se pot stabili exact caracteristicile dinamice ale sarcinilor şi alte caracteristici ale instalaţiilor şi calculul ce urmează primei oscilaţii nu dă indicaţii sigure).

Această problemă apare ca cea mai complicată la ora actuală şi putem afirma că literatura mondială s-a oprit la calcule laborioase, în general, neriguroase pentru timp lung, care nu corespund în nici un fel necesităţilor actuale*).

Sînt unele propuneri interesante, dar încă nefinalizate. Astfel Dy-Lyacco (Cleveland) [5] caută o soluţie prin construirea unei matrice a unghiurilor generatoarelor în timp real şi compararea ei cu o matrice a unghiurilor conţinînd limite ale valorilor deduse din numeroase calcule „off-line". Ieşirea valorilor unghiurilor „on-line" din valorile-plafon hotărîte „off-line" va indica dacă este pericol de pierdere a stabilităţii în regimul simulat. Indicatorul, în acest caz, este simplu şi este constituit de matricea unghiurilor. Soluţia pe această cale este dificilă, considerînd numeroasele cazuri care trebuie cercetate off-line, dar ne apare de cel mai mare interes şi de o deosebită operativitate şi eleganţă.

— *Generalizarea problemelor de evaluare a siguranţei* care va decide, considerînd evoluţiile sistemului energetic respectiv, intervalele de timp în care trebuie făcute testele şi simulările pentru a echivala o permanentă supraveghere.

— *Limbaj specializat de programare* pentru operaţiile specifice sistemului electroenergetic, în vederea uşurării dialogului „om-calculator".

— *Operaţiile de restabilire* a stărilor normale, plecînd de la anumite stări de prealarmă sau alarmă, care au fost detectate de anumite valori ale indicatorilor utilizaţi.

— *Operaţiile optime de revenire* a sistemului la normal după anumite categorii de avarii.

— *Metode de descompunere a sistemului în subsisteme sau zone interconectate*, pentru posibilităţi de analiză în timp real, cu deducerea de indicatori.

— *Procedee de „vizualizare"*, cu ajutorul desenelor şi al graficelor, care să caracterizeze stări fizice şi să permită aprecieri rapide utilizate în decizii.

Este evident că o asemenea listă nu poate fi limitativă, iar fiecare problemă în parte asociază o serie de alte cercetări ale fenomenelor fizice corelate sau ale consecinţelor economice rezultate.

---

*) În S.U.A. s-a propus următoarea exigenţă în legătură cu stabilitatea : „Un sistem trebuie să rămînă stabil pentru orice combinaţie de incidente care are probabilitatea de apariţie depăşind o dată la 100 ani" ; s-a renunţat la această enunţare deoarece s-a arătat că nu există nici o cale de determinare a probabilităţii [11].

**Bibliografie**

[ 1] H a p p , H.H. *Multicomputer Configurations and Diakoptics Dispacy of Real Power in Power Pools* I.E.E.E. Transactions on Power Apparatus and Systems, 88, nr. 5, 1969.

[ 2] K i r c h m a y e r , E.L. *Automation and Utility System Security*. I.E.E.E. Spectrum, vol. 8, nr. 7, 1971, p. 37—42.

[ 3] A l b e r t , H., N i t u, V.I. şi R o m e r t , V. *Aspecte ale siguranţei în funcţionarea, proiectarea şi exploatarea instalaţiilor sistemului energetic*. Studii şi cercetări de energetică, nr. 2, 1971, p. 134—140.

[ 4] D i m o , P., G r o z a , L., M o r a i t e , G. şi I o n e s c u , S. *Stările caracteristice ale sistemelor electroenergetice*. Raport Sesiunea tehnico-ştiinţifică ISPE, 1971.

[ 5] D y-L y a c c o , T.E. Control of Power Systems. *Memoriul cercetării în cadrul Systems Research Center* (Case Western Reserve University). SRC — 68—19.

[ 6] H a p p , H.H. *The Interarea Matrix*. I.E.E.E. Trans. on Power, App. and Systems, 90, nr. 1, 1971, p. 36—45.

[ 7] K r o n , G. *Diakoptics*. Waterlow & Sons Limited, Dunstable and London, 1963.

[ 8] K i r c h m a y e r , K. *Economic Operation of Power Systems*. John Wiley & Sons, INC — New York, 1958.

[ 9] S a s s o n , A.M. *Decomposition Techniques Applied to the Nonlinear Programming Load-Flow Method*. I.E.E.E. Trans on Power App. and Systems, 80, nr. 1, 1970.

[10] D i m o , P. *L'Analyse nodale des réseaux d'énergie*. Ed. Eyrolles, Paris, 1971,

[11] * * * *Prevention of Power Failures*, vol. 1, 2, 3. Report to the Federal Power Commission — U.S.A.

(Articol intrat în redacţie la 22 februarie 1972)

# Alegerea funcţiilor unor caracteristici energetice în vederea programării pe un calculator numeric de capacitate mică (MCC-200)*)

Ing. **C. Berbece**
şi matem. **R. Şerban****)

Calculatorul MCC-200, fiind mai mult un echipament de prelucrare a datelor (data logger), are mai puţin dezvoltată partea de calcul. Din acest motiv, disponibilitatea de memorie şi de intrucţiuni de programare pentru urmărirea mersului economic într-o centrală este relativ redusă.

Un MCC-200 are o memorie operativă de 500 cuvinte şi 1000 paşi de program, din care pentru calcule rămîn disponibili în general circa 250 de paşi. Diferenţa de paşi se consumă pentru realizarea programului principal, a programului de explorare, de indicare, de alarmă şi de imprimare pe maşinile de scris. În consecinţă se impune ca alegerea indicilor tehnico-economici ce se calculează să fie făcută foarte judicios, iar funcţiile matematice care descriu diferite procese termice să fie cît mai simple, asigurînd însă precizia de calcul necesară.

În cele ce urmează se arată concret pentru două cazuri reale — este vorba de echipamentele de calcul ce se introduc în termocentralele Steaua Roşie — Fîntînele şi Palas — cum s-au adaptat şi determinat funcţiile matematice ale unor caracteristici şi parametrii ce intervin la alcătuirea programului de supraveghere al unui calculator de proces.

Programele de calcul al funcţiilor matematice menţionate au fost întocmite în limbaj ALGOL 4120 pentru calculatorul ELLIOTT 4120 de la centrul de calcul ale Dispecerului naţional al M.E.E.

## 1. Stabilirea formei ecuaţiilor de stare simplificate ale aburului şi apei de alimentare

### 1.1. *Verificarea preciziei unor ecuaţii de stare simplificate*

#### 1.1.1. Ecuaţiile de stare simplificate pentru abur supraîncălzit

În [1], pentru abur supraîncălzit se recomandă ecuaţia pentru determinarea entalpiei :

$$i_{ab} = K_1 + K_2\tau + K_3\tau^2 - p\tau^{-4}(K_4 + K_5\tau + K_6\tau^2) - p^3\tau^{-16}[K_7\tau^2 + \tau^{-16}(K_8 + K_9\tau + K_{10}\tau^2)] \quad (1)$$

unde

$p$ este presiunea aburului supraîncălzit, ata ;
$\tau = T/100$, $T$ fiind temperatura aburului, grade Kelvin ;

$K_1 = 484{,}93742$ $\quad K_6 = 2{,}047433$
$K_2 = 39{,}296734$ $\quad K_7 = 1{,}53275 \cdot 10^6$
$K_3 = 0{,}743949$ $\quad K_8 = 1{,}047137 \cdot 10^{18}$
$K_4 = 45{,}676411$ $\quad K_9 = 2{,}563214 \cdot 10^{17}$
$K_5 = 108{,}62639$ $\quad K_{10} = -8{,}367265 \cdot 10^{15}$

Această ecuaţie şi următoarele au fost programate pe calculator*) pentru a se calcula eroarea dintre entalpia calculată şi cea corespunzătoare aceloraşi valori ale presiunii ($p$) şi temperaturii ($t$), ($T = t + 273{,}15$) date în tabelele de abur Vukalovici, Editura tehnică, 1967.

*) Lucrarea a fost realizată în cadrul IRME — Bucureşti şi a fost prezentată la a II-a Consfătuire tehnico-ştiinţifică ,,Utilizarea calculatoarelor electronice pentru rezolvarea problemelor tehnico-ştiinţifice, gestiune şi conducerea sistemului electroenergetic naţional''.

**) C. Berbece este adj. şef Serv. Automatizări termomecanice din IRME ; R. Şerban este matematician analist la Serv. de calcul electronic din IRME.

*) Din motive de spaţiu programele nu sînt reproduse, dar pot fi consultate la IRME.

Din rezultatele obținute pentru domeniile $105 \leqq p \leqq 160$ ata și $400 \leqq t \leqq 650°C$ rezultă că eroarea este mai mică decît 2‰ și scade cînd $t$ crește.

În cazul în care se renunță la ultimul termen al formulei (1), eroarea față de tabelele Vukalovici este cuprinsă între 1‰ și 3‰ pentru valori ale lui $t$ între 400 și 500°C și sub 2‰ pentru valori ale lui $t$ în domeniul $500 \leqq t \leqq 650°C$.

Pentru cazul programării acestor mărimi cu ajutorul unui calculator de proces de tipul MCC-200, s-a calculat entalpia $i_{ab}$ cu ajutorul formulei anterioare, luînd în considerare pentru fiecare coeficient numai patru cifre semnificative (menținîndu-se bineînțeles ordinul de mărime).

Calculul s-a făcut pentru valori ale lui $p$ din 5 în 5 ata, între 105 ata și 160 ata, și pentru valori ale lui $t$ din 10 în 10°C, între 500 și 580°C.

Eroarea obținută este suficient de mică și variază între 1‰ și 2,8‰.

Dacă se neglijează ultimul termen al formulei, rezultatele sînt obținute cu o eroare ce variază între 1,4‰ și 5‰.

În [2] se propune o altă ecuație de stare simplificată pentru calculul entalpiei aburului, valabilă pînă la 650°C și 300 ata.

$$i_{ab} = i_0 - i_1 - i_2 \quad [\text{kcal/kgf}], \tag{2}$$

unde

$$i_0 = \sum_{K=0}^{4} a_K X^K;$$

$$i_1 = p\left(\sum_{K=0}^{5} b_K X^K\right)^{-1}$$

$$i_2 = \left(\frac{p_a}{Y}\right)^3$$

iar $$X = \frac{273{,}15 + t}{100};$$

$$Y = \begin{cases} \sum_{K=0}^{5} C_K X^K & \text{pentru } X < 5{,}5 \\ \sum_{K=0}^{6} d_K X^K & \text{pentru } X \geqq 5{,}5 \end{cases}$$

și de asemenea:

$p_a = p$ pentru $p < 100$ ata

$p_a = f_0 + f_1 p + f_2 p^2$ pentru $p \geqq 100$ ata

Valorile coeficienților sînt cele date în tabelul 1.

S-a calculat entalpia pentru valori ale presiunii și temperaturii în domeniul:

$$60 \leqq p \leqq 190 \text{ ata}$$

$$400 \leqq t \leqq 650°C$$

Între 60 ata și 100 ata calculul s-a efectuat din 4 în 4 ata, iar între 100 și 190 ata, din 5 în 5 ata.

Pasul pentru $t$ este de 10 °C.

Din analiza rezultatelor obținute rezultă că eroarea dintre entalpia calculată și cea dată în tabelele Vukalovici variază astfel:

Pentru:

$400 \leqq t \leqq 450°C$ și $60 \leqq p \leqq 100$ ata, între 2‰ și 7‰

$400 \leqq t \leqq 450°C$ și $100 \leqq p \leqq 190$ ata, între 1% și 5%

$450 \leqq t \leqq 650°C$ și $60 \leqq p \leqq 100$ ata, sub 1‰

$450 \leqq t \leqq 650°C$ și $100 \leqq p \leqq 190$ ata, între 1% și 2%

1.1.2. Ecuațiile de stare pentru apa de alimentare

a) În [1], pentru calculul entalpiei apei de alimentare se propune ecuația:

$$i_{al} = 2{,}4 + 99\tau + 0{,}4\,\tau^3 + 1{,}3\cdot 10^{-2}\tau^6 + (p - 100)\cdot(2{,}3.10^{-2} - 5{,}43\cdot 10^{-3}\tau - 0{,}85\cdot 10^{-4}\tau^5) \quad [\text{kcal/kgf}], \tag{3}$$

unde $\tau = \frac{t}{100}$, domeniul de calcul fiind:

$$0 \leqq p \leqq 250 \text{ ata}$$

$$0 \leqq t \leqq 260°C$$

Pentru $50 \leqq p \leqq 96$ s-a calculat cu pasul $p = 4$ ata, iar restul intervalului cu pasul $p = 10$ ata.

*Tabelul 1*

**Valorile coeficienților din relația (2) [2]**

| $K$ | $a_K$ | $b_K$ | $c_K$ | $d_K$ | $f_K$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 476,4407 | $0{,}3382912.10^{-3}$ | 184,5234 | −25,74853 | −4,611663 |
| 1 | 44,69252 | $-0{,}3208082.10^{-2}$ | −277,3417 | 16,22951 | 1,088978 |
| 2 | −0,4634366 | $0{,}6254014.10^{-2}$ | 163,9687 | 8,78897 | $-0{,}284434.10^{-3}$ |
| 3 | 0,1133773 | $0{,}8725503.10^{-2}$ | − 47,46279 | 2,83007 | — |
| 4 | $-0{,}3789793.10^{-2}$ | $-0{,}1657298.10^{-2}$ | 6,672963 | − 0,4419627 | — |
| 5 | — | $0{,}3890315.10^{-5}$ | − 0,358557 | $0{,}375192.10^{-1}$ | — |
| 6 | — | — | — | $-0{,}1005285.10^{-2}$ | — |

Pasul de calcul pentru temperatură a fost de 10°C.

Din studierea rezultatelor obţinute se poate trage concluzia că, exceptînd valorile entalpiei corespunzătoare unor valori ale lui $t < 10 - 20°C$, eroarea entalpiei calculate faţă de cea din tabelele Vukalovici este mai mică decît 1‰.

b) În [2] se propune o altă ecuaţie, şi anume:

$$i_{a_r} = 3 + t + 1{,}9\,\tau^3 + 1{,}25\,(0{,}01\,p - 0{,}7) \times$$

$$\times (1{,}6 - \tau)\ [\text{kcal/kgf}], \qquad (4)$$

unde $\tau = \dfrac{t - 100}{100}$.

Domeniul de calcul este:

$$130 \leqq p \leqq 250 \text{ ata}$$

$$100 \leqq t \leqq 260°C$$

Pasul de calcul pentru $p$ este de 5 ata, iar pentru $t$ de 10°C.

Eroarea rezultată faţă de tabele este sub 1% pentru $100 \leqq t \leqq 150$, iar pentru valori mai mari ale temperaturii eroarea coboară sub 6‰ şi descreşte odată cu creşterea lui $t$.

c) O altă ecuaţie de stare propusă în [2], valabilă şi pentru apa de injecţie, este:

$$i_{al} = 1{,}5 + t - 3{,}6\left(\frac{t - 120}{100}\right)^2 +$$

$$+ 1{,}5\,(0{,}01\ p - 0{,}7)\ [\text{kcal/kgf}] \qquad (5)$$

Domeniul de calcul:

$$30 \leqq p \leqq 100 \text{ ata}$$

$$120 \leqq t \leqq 230°C$$

Pasul de calcul pentru $p$ este de 4 ata, iar pentru $t$ de 10°C.

Eroarea rezultată este sub 7‰ pentru $120 \leqq t \leqq 160°C$, iar pentru $160 \leqq t \leqq 230°C$, eroarea creşte, odată cu creşterea lui $t$, ajungînd pînă la valoarea maximă de 4%.

Se remarcă faptul că rezultatele obţinute cu ajutorul ecuaţiei (3) dau erorile cele mai mici faţă de tabelele menţionate mai sus.

### 1.2. *Stabilirea structurii ecuaţiilor de stare în vederea programării pe calculatorul MCC-200*

Pentru a se face economie de memorie şi instrucţiuni de programare, ecuaţiile de stare anterioară s-au simplificat pînă la o formă care să asigure o precizie de 0,5% faţă de valorile din tabelele Vukalovici.

S-au luat în considerare cazurile concrete unde se vor introduce calculatoare de proces de tipul MCC-200, şi anume CTE Fîntînele şi CET Palas.

Astfel, pentru CTE Fîntînele, este necesar să se calculeze entalpia aburului în limitele de temperatură şi presiune necesare, şi anume:

$$480 \leqq t \leqq 520°C$$

$$85 \leqq p \leqq 115 \text{ ata},$$

iar entalpia apei de alimentare pentru:

$$150 \leqq t \leqq 220°C$$

$$140 \leqq p \leqq 160 \text{ ata}.$$

Pentru CET Palas, domeniile de temperatură şi presiune pentru entalpia aburului supraîncălzit sînt:

$$540 \leqq t \leqq 575°C$$

$$125 \leqq p \leqq 150 \text{ ata},$$

iar pentru entalpia apei de alimentare:

$$140 \leqq t \leqq 240°C$$

$$145 \leqq p \leqq 175 \text{ ata}.$$

```
SAT 11 ;
"BEGIN" "INTEGER" T, P, TO, PO, RT, RP, J, L, JF, LF ;
'READ' TO, PO, RT, RP, JF, LF ;
"BEGIN' "REAL" K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8, K9, K10, A, C, CO, TT, T1,
TAU, ER1, ER2, ER3, ER4, ER5, ERS1, ERS2, ERS3, ERS4, ERS5, ENS1,
ENS2, ENS3, ENS4, ENS5 ;
"ARRAY' V[1:JF, 1:LF] ; "READ" K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8, K9, K10 ;
"FOR".J:=1"STEP" 1 "UNTIL" JF "DO" "BEGIN".
"FOR" L:=1"STEP." 1 "UNTIL" LF "DO" "READ' V[J,L]; "END";
"BEGIN' "PRINT' ''LS2`P'S3`T'S8`IS1'S5`IS2'S5`IS3'S5`IS4'S5`
IS5` ;
P:=PO; T:=TO ;
"FOR"J:=1 'STEP" 1 'UNTIL" JF "DO" "BEGIN" T:=TO;
"FOR" L:=1" STEP" 1 "UNTIL" LF "DO" "BEGIN"
TAU :=(T+273,15)/100 ;TT:=TAU*TAU;T1 :=TAU ↑ (-16) ;
A:=K1+K2 * TAU+K3 * TT ;
CO:=(K8+K9 * TAU+K10 * TT) * 10 ↑ (15) ;
C:=P * P * P * T1 * (K7 * TT+T1 * CO);
ENS1:=A ;
ENS2:=ENS1-P * TAU ↑(-4) * K4 ;
ENS3:=ENS2-P * TAU ↑(-3) * K5 ;
ENS4:=ENS3-P * TAU ↑ (-2) * K6 ;
ENS5:=ENS4-C
ER1:=ENS1-V[J,L]; ERS1 :-ER1/ENS1 ;
ER2:=ENS2-V[J,L]; ERS2:=ER2/ENS2;
ER3:=ENS3-V[J,L]; ERS3:=ER3/ENS3;
ER4:=ENS4-V[J,L]; ERS4:=ER4/ENS4;
ER5:=ENS5-V[J,L]; ERS5:=ER5/ENS5;
'PRINT' ''L``, SAMELINE, DIGITS(3), P, ''S2``, T, ''S2``, SCALED(6),
ENS1, ''S``, ENS2, ''LS``, ENS3, ''S``, ENS4, ''S``, ENS5 ;
'PRINT' ''L`ER1=`, SAMELINE, SCALED(6), ERS1, ''S`ERS2=`, ERS2,
''LS`ER3=`, ERS3, ''S`ER4=`, ERS4; ''S`ER5=`, ERS5 ;
'PRINT" ''L`DIF1=`, SAMELINE, SCALED(5), ER1, ''S`DIF2=`, ER2,
''LS`DIF3=`, ER3, ''S`DIF4=`, ER4, ''S`DIF5=`, ER5;
T:=T+RT ; 'END" ; P:=P+RP ;
"END" ;'END" ; 'END"; 'END';
```

Fig. 1. Programul SAT 11.

**Pentru realizarea acestor calcule s-au efectuat două programe de calcul, denumite SAT 11 şi SAT 31 (fig. 1 şi 2).**

**Coeficienţii au fost luaţi în considerare numai cu patru cifre semnificative.**

1.2.1. Programul SAT 11

Acest program realizează calculul entalpiei $i_{ab}$ după formula (1):

$$i_{ab} = K_1 + K_2\tau + K_3\tau^2 - p\tau^{-4}(K_4 + K_5\tau + K_6\tau^2) - p^3\tau^{-16}[K_7\tau^2 + \tau^{-16}(K_8 + K_9\tau + K_{10}\tau^2)]$$

```
SAT 31
"BEGIN" "INTEGER" P,T,PO,TO,RP,RT,J,JF,L!,Y;
"READ" PO,TO,RP,RT,JF,LF ; "READ" READER(3),Y;
"BEGIN" "REAL" I1,I2,I3,ER1,ER2,ER3,ET1,ET2,ET3,TAU,TT ;
"ARRAY" Y [1:JF, 1:LF];
"FOR" J:=1 "STEP" 1 "UNTIL" JF "DO"
"FOR" L:=1 "STEP" 1 "UNTIL" LF "DO"
"READ" V [J,L];
P:=PO; "FOR" J:=1 "STEP" 1 "UNTIL" JF "DO" "BEGIN"
T:=TO ; "FOR" L:=1 "STEP" 1 ."UNTIL" LF "DO"
"BEGIN"
"IF" Y-1 "THEN"
"BEGIN"
TAU:=T/100 ;TT:=TAU*TAU*TAU ;
I1:=2.4+99*TAU+0.4*TT+0.013*TT*TT+0.023*(P-100);
I2:=I1-0.00543*TAU*(P-100) ;
I3:=I2-0.000085*TAU*TAU*TT ;
"END" "ELSE" "BEGIN"
TAU:=(T-100)/100 ;
I1:= 3+T+1.9*TAU*TAU*TAU+0.0125*P ;
I2:=I1-0.875 .;
I3:-I2*(1.6-TAU);
"END";
ET1:=I1-V[J,K];ER1:=ET1/I1 ;
ET2:=I2-V[J,K];ER2:=ET2/I2 ;
ET3:=I3-V[J,K];ER3:=ET3/I3 ; .
"PRINT" 'L', DIGITS (3), P, SAMELINE, 'S3',T, 'S2`I1=`, FREEPOINT(5),I1,
        'S2`I2=`, I2, 'S2`I3=`, I3 ;
"PRINT" 'L`ER1.=`, FREEPOINT (5), ER1, SAMELINE, 'S`ER2=`, ER2, 'S`ER3=`,
        ER3, FREEPOINT (4), 'S`DIF1=`, ET1, 'S`DIF2=`, ET2, 'S`DIF3=`, ET3;
J:=T+RT; "END";
P:=P+RP; "END"; "END"; "END";
```

Fig. 2. Programul SAT 31.

în următoarele variante simplificate:

$$i_{ab1} = K_1 + K_2\tau + K_3\tau^2$$

$$i_{ab2} = i_{ab1} - p\tau^{-4}K_4$$

$$i_{ab3} = i_{ab1} - p\tau^{-4}(K_4 + K_5\tau)$$

$$i_{ab4} = i_{ab1} - p\tau^{-4}(K_4 + K_5\tau + K_6\tau^2)$$

$$i_{ab5} = i_{ab}$$

unde

$$\tau = T/100$$

Coeficienții $K_1, \ldots, K_{10}$ sînt cei dați în 1.1.1., considerîndu-se numai cu patru cifre semnificative.

Pentru fiecare variantă s-au calculat erorile absolute și relative față de valorile corespunzătoare ale entalpiei din tabelele Vukalovici.

Pasul de calcul este de 4 ata pentru valori ale lui $p < 100$ ata și de 5 ata pentru $p \geq 100$ ata. Pasul pentru $t$ este de 10°C.

Erorile relative pentru fiecare variantă sînt date în tabelul 2.

*Tabelul 2*

| Varianta | CET FÎNTÎNELE | | CEP PALAS | |
|---|---|---|---|---|
| | Eroarea minimă, % | Eroarea maximă, % | Eroarea minimă, % | Eroarea maximă, % |
| $i_{ab1}$ | 0,4 | 3,8 | 2,9 | 4,0 |
| $i_{ab2}$ | 2,6 | 4,3 | 3,1 | 4,4 |
| $i_{ab3}$ | 0,42 | 0,87 | 0,6 | 0,9 |
| $i_{ab4}$ | 0,09 | 0,35 | 0,2 | 0,34 |
| $i_{ab5}$ | 0,05 | 0,19 | 0,16 | 0,24 |

Privind tabelul de mai sus se observă că formula cea mai simplă cu care se obțin erori sub 0,5% este, pentru ambele centrale:

$$i_{ab4} = K_1 + K_2\tau + K_3\tau^2 - p\tau^{-4}(K_4 + K_5\tau + K_6\tau)^2.$$

1.2.2. Programul SAT 31

Acest program realizează calculul ecuațiilor de stare pentru apă, $i_{al}$, după două formule (a) și (b):

$$i_{al} = 2{,}4 + 99\,\tau + 0{,}4\,\tau^3 + 1{,}3\cdot10^{-2}\tau^6 + (p - 100)\cdot(0{,}023 - 0{,}0053\,\tau - 0{,}000085\,\tau^5)\ \text{[kcal/kgf]}. \qquad (a)$$

Calculul s-a efectuat în următoarele variante:

$$i_1 = 2{,}4 + 99\,\tau + 0{,}4\,\tau^2 + 0{,}013\,\tau^6 + 0{,}23\,(p - 100)$$

$$i_2 = i_1 - 0{,}000543\,\tau^3\,(p - 100)$$

$$i_3 = i_2 - (p - 100)\cdot 0{,}000085\,\tau^5;$$

$$i_4 = i_{al}.$$

$$i'_{al} = 3 + t + 1{,}9\,\tau^3 + 1{,}25\,(0{,}01\,p - 0{,}7)\,(1{,}6 - \tau).\ \text{[kcal/kgf]}. \qquad (b)$$

Calculul s-a efectuat în următoarele variante:

$$i'_1 = 3 + t + 1{,}9\,\tau^3$$

$$i'_2 = i'_1 + 0{,}0125\,p$$

$$i'_3 = i'_2 - 0{,}875$$

$$i'_4 = i'_{al}.$$

Pentru fiecare din aceste variante s-au calculat de asemenea erorile absolute și relative

*Tabelul 3*

| Eroarea % | $i_1$ | $i_2$ | $i_3$ | $i_4$ | $i'_1$ | $i'_2$ | $i'_3$ | $i'_4$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *min.* | 0,05 | 0,2 | 0,001 | 0,001 | 0,01 | 0,7 | 0,4 | 0,04 |
| *max.* | 0,8 | 0,56 | 0,17 | 0,17 | 0,22 | 1,4 | 0,83 | 0,98 |

față de valorile din tabele. Erorile relative sînt cele din tabelul 3, valabile pentru ambele centrale.

Se observă astfel că pentru formula (a) varianta cea mai simplă cu care se obține o eroare mai mică decît 0,5% poate fi considerată:

$$i_2 = 2,4 + 99\tau + 0,4\tau^2 + 0,013\tau^6 + + (p \quad 100) . 0,023.$$

Pentru formula (b) varianta cea mai simplă este:

$$i_1' = 3 + t + 1,9\tau^2.$$

## 2. Stabilirea ecuației de calcul al excesului de aer în gazele de ardere

Calculul excesului de aer în funcție de conținutul de $O_2$ și CO din gazele de ardere se face cu ajutorul relațiilor:

$$\alpha = \frac{N_2}{N_2 - 3,76\,(O_2 - 0,5\,CO)}$$

$N_2 = 100 - O_2 - CO_2 - CO$, unde $CO_2$ în cazul CTE Fîntînele (combustibil gaze naturale) este:

$$CO_2 = \frac{21 - O_2 - 0,21\,CO}{1,79},$$

iar în cazul CET Palas (combustibil păcură):

$$CO_2 = \frac{21 - O_2 - 0,9\,CO}{1,315}$$

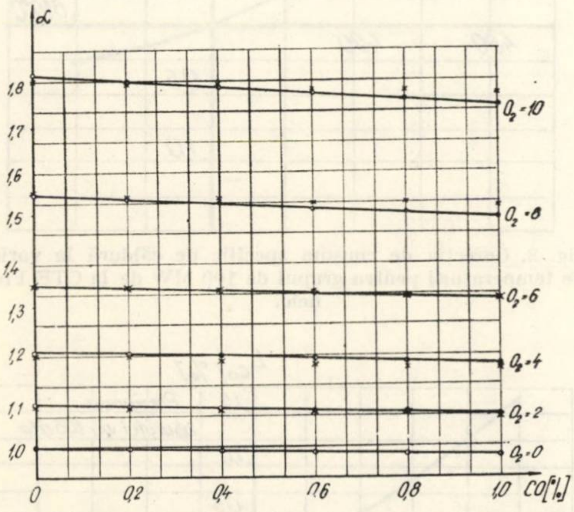



Fig. 3. Diagrama excesului de aer pentru CTE Fîntînele: $\alpha = -0,03\ CO + 0,005892\ O_2^2 + 0,01778\ O_2 + 1,034872.$

Cu ajutorul acestor relații s-au trasat diagramele din figurile 3 și 4.

Funcțiile matematice care descriu aceste diagrame s-au determinat prin metoda celor mai mici pătrate [3], elaborîndu-se în acest sens programul de calcul denumit CIP (fig. 5).

Programul CIP este un program general, care permite aproximarea unor funcții de mai multe variabile, numărul variabilelor și gradul acestora putîndu-se alege după necesități.

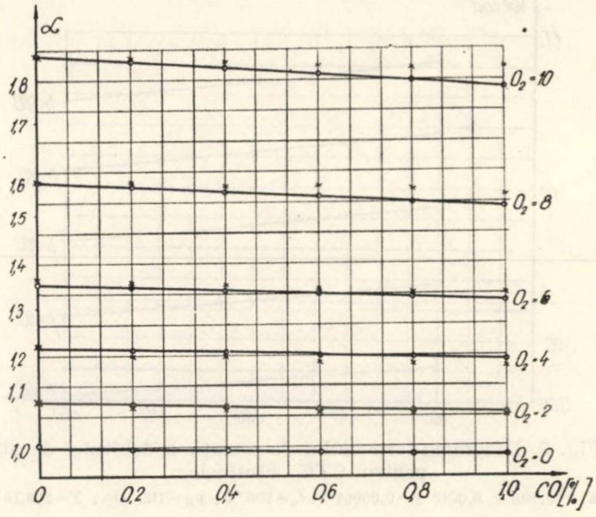



Fig. 4. Diagrama excesului de aer pentru CET Palas: $\alpha = -0,0325\ CO + 0,006785\ O_2^2 + 0,01257\ O_2 + 1,04662.$

```
CIP
'BEGIN' 'INTEGER' I,J,K,N,M ; 'REAL' S ; 'READ' N,M;
'BEGIN' 'ARRAY' A[1:N, 1:M], B [1:N] ;
'FOR' I : - 1 'STEP' 1 'UNTIL' N 'DO'
'BEGIN'
'READ' A[I, 1] ;
A[I ,2] := A[I, 1] * A[I ,1] ;
'END' ;
'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' N 'DO'
'FOR' J: =3 'STEP' 1 'UNTIL' M 'DO'
'READ' A [I,J] ;
'FOR' I: = 1 'STEP' 1 'UNTIL' N 'DO' 'READ' B[I] ;
'BEGIN' 'ARRAY' A1 [1 :M, 1:M+ 1] ;
'FOR' I := 1 'STEP' 1 'UNTIL' M 'DO'
'FOR' J := 1 'STEP' 1 'UNTIL' M 'DO'
'BEGIN' A 1[I,J] :=0 ;
'FOR' K := 1 'STEP' 1 'UNTIL' N 'DO
A 1[I,J]: = A 1 [I,J] + A[K,I] * A [K,J] ;
'END' ;
'FOR' I := 1 'STEP' 1 'UNTIL' M 'DO'.
'BEGIN' A 1[I, M + 1] : =0 ;
'FOR' K :=1 'STEP' 1 'UNTIL' N 'DO'
A 1[I, M+ 1] : = A 1[I, M+ 1] + B[K] * A[K, I] ;
'END' ;
'FOR' I: = 1 'STEP' 1 'UNTIL' M 'DO'
'BEGIN' K: =I; 'IF' A 1[I,K] 'NE' 0 'THEN' 'GOTO' L1 ;
'FOR' K : = K+ 1 'WHILE' K 'LE' M 'AND' A 1[K,I] - 0 'DO'
'BEGIN' J: = K; 'IF' J= M 'THEN
'BEGIN' 'PRINT' PUNCH(3), ''LS2`NEDETERMINARE: `; 'GOTO' L2;
'END' ;
'END' ;
'FOR' J : =1 'STEP' 1 'UNTIL' M+1 'DO'
'BEGIN' S:= A 1[I,J]; A 1[I,J]:= A 1[K,L];
A 1 [K,J] := S ; 'END';
L1 : S := 1/A1 [I,I];
'FOR' K : = I+1 'STEP' 1 'UNTIL' M+1 'DO'
A 1[I,K] := A1[I,K] * S ;
'FOR' K: = 1 'STEP' 1 'UNTIL' I- 1, I+ 1 'STEP' 1 'UNTIL' M 'DO'
'BEGIN' S: - A1[K,I] ; 'IF' S 'NE' 0 'THEN'
'FOR' J: =I+1 'STEP' 1 'UNTIL' M+1 'DO'
A 1[K,J] := A 1[K,L] - S * A 1[I,L] ;
'END' ;
'END' ;
'BEGIN' 'ARRAY' R[1 :N];
'FOR' I :=1 'STEP' 1 'UNTIL' N 'DO'
'BEGIN' R[I]: -0 ; 'FOR' J:= 1 'STEP' 1 'UNTIL' M 'DO'
R[I] : = R[I] + A[I,J] * A 1[J, M+1];
'END';
'FOR' I := 1 'STEP' 1 'UNTIL' N 'DO'
B[I] : = B [I] - R[I] ; 'PRINT' ''LS4 RADACINI` ;
'FOR' K: = 1 'STEP' 1 'UNTIL' M 'DO'
'PRINT' ''LS8`X (`; SAMELINE, DIGITS (1), K, ')-`; ALIGNED (3, 11), A 1[K, M+ 1];
'FOR' I : = 1 'STEP' 1 'UNTIL' N 'DO'
'PRINT' ''LS5 `; SAMELINE, ALIGNED (2,3), B[I];
'END';
L2: 'END';
'END' ;
'END' ;
```

Fig. 5. Programul CIP.

Programul calculează și diferențele între valorile măsurate și cele calculate cu ajutorul funcțiilor determinate, putîndu-se aprecia astfel precizia de aproximare a curbei.

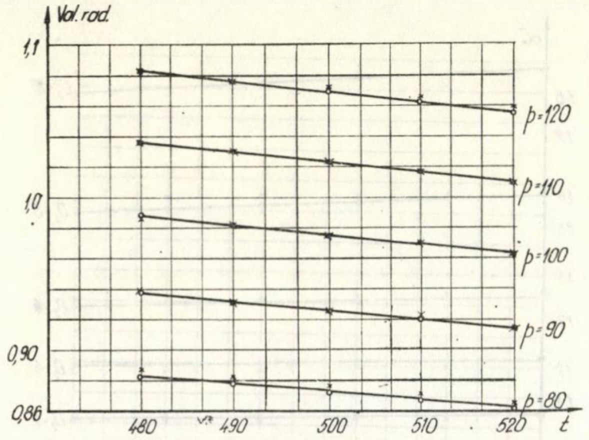



Fig. 6. Diagrama termenului de corecție a debitului de abur pentru CTE Fîntînele:
$K = 0{,}800 + 0{,}0048\ p - 0{,}00061\ t$; $t_0 = 500$ °C; $p_a = 105$ ata; $T = 273{,}16 + t$.

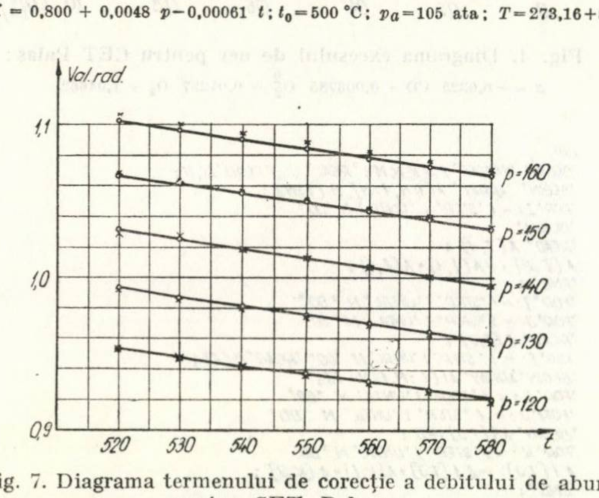



Fig. 7. Diagrama termenului de corecție a debitului de abur pentru CET Palas:
$K = 0{,}810 + 0{,}0038\ p - 0{,}0006\ t$; $t_0 = 570$ °C; $p_a = 140$ ata; $T = 273{,}16 + t$.

Pentru cazurile concrete menționate au rezultat următoarele funcții de aproximare:

— pentru CTE Fîntînele:

$$\alpha = 1{,}035 + 0{,}01788\ O_2 + 0{,}005892\ O_2^2 - 0{,}03\ CO;$$

— pentru CET Palas:

$$\alpha = 1{,}047 + 0{,}01257\ O_2 + 0{,}006785\ O_2^2 - 0{,}0325\ CO.$$

Aceste funcții asigură precizie în domeniul de lucru $2 \leq O_2 \leq 6$, deci $1{,}1 \leq \alpha \leq 1{,}4$.

## 3. Calculul termenului de corecție al debitelor în funcție de temperatură și presiune

Calculul termenului de corecție al debitelor în funcție de temperatură și presiune se face cu ajutorul relației:

$$D_{corectat} = D_{măs} \sqrt{\frac{p_{măs} \cdot T_{calc}}{p_{calc} \cdot T_{măs}}} = D_{măs} \cdot K,$$

în care $p_{calc}$ și $T_{calc}$ sînt parametrii de calcul ai diafragmei de măsură.

Întrucît rutina pentru extragerea radicalului pe calculatorul MCC-200 necesită un număr mare de celule de memorie și pași de programare, s-a preferat să se stabilească o funcție care să aproximeze diagrama trasată după termenul de corecție din formula anterioară. În figurile 6 și 7 sînt trasate diagramele termenului de corecție ale debitelor de abur pentru CTE Fîntînele și CET Palas.

Formulele matematice care descriu aceste diagrame (determinate tot cu ajutorul programului CIP) sînt:

— pentru CET Fîntînele:

$$K = 0{,}800 + 0{,}0048\ p - 0{,}00061\ t;$$

— pentru CET Palas:

$$K = 0{,}810 + 0{,}0038\ p - 0{,}0006\ t$$

## 4. Stabilirea ecuațiilor pentru calculul corecțiilor de consum specific de căldură la turbine cu condensație

În figurile 8, 9 și 10 sînt date corecțiile de consum specific de căldură ale grupului de

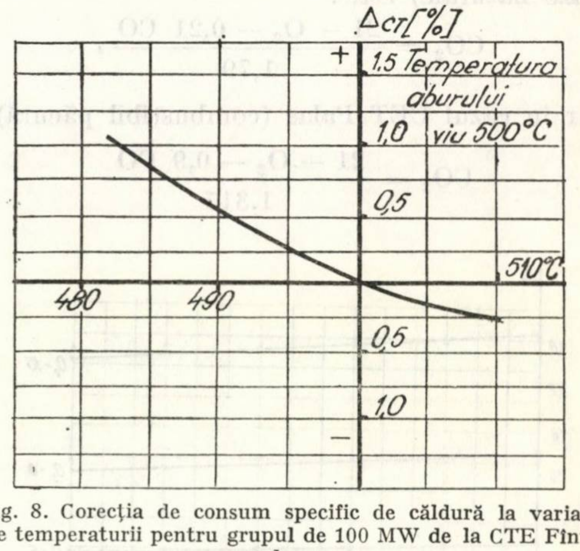



Fig. 8. Corecția de consum specific de căldură la variații ale temperaturii pentru grupul de 100 MW de la CTE Fîntînele.

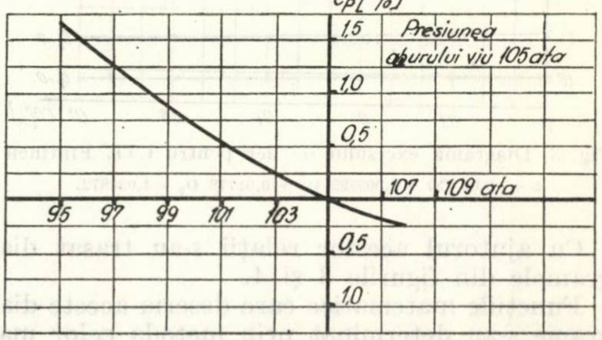



Fig. 9. Corecția de consum specific de căldură la variații ale presiunii aburului în fața turbinei, la grupul de 100 MW de la CTE Fîntînele.

100 MW din CTE Fîntînele la variaţiile temperaturii şi presiunii aburului în faţa turbinei şi respectiv la variaţii ale temperaturii apei de răcire.

— Abaterea relativă a consumului specific de căldură datorită variaţiei temperaturii apei de răcire ($t_r$):

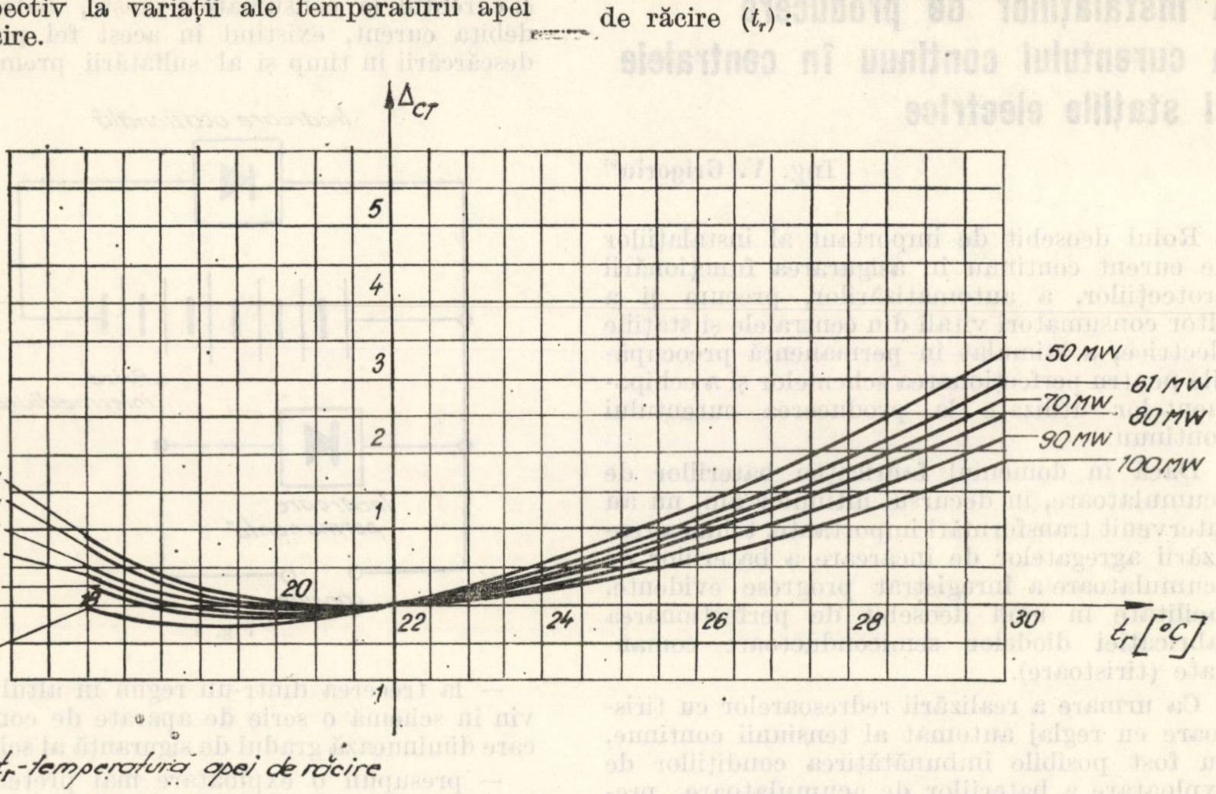



Fig. 10. Corecţia de consum specific de căldură în funcţie de temperatura apei de răcire.

Diagramele date au fost aproximate tot cu ajutorul programului CIP, obţinîndu-se următoarele funcţii:

— Abaterea relativă a consumului specific de căldură datorită variaţiei temperaturii aburului în faţa turbinei ($t_T$):

$$\Delta c_T = 269,1 - 1,038\ t_T + 0,000997\ t_T^2.$$

— Abaterea relativă a consumului specific de căldură datorită variaţiei presiunii aburului în faţa turbinei ($p_T$):

$$\Delta c_p = 58,82 - 0,9999\ p_T + 0,004188\ p_T^2.$$

$$\Delta c_r = 3,912 + 0,1293\ P - (0,745 + 0,0075P)t_r + (0,02575 + 0,000077\ P)\ t_r^2,$$

unde $P$ este puterea blocului.

**Bibliografie**


[1] Pich, R. şi Drensen, K.H. *Obţinerea mărimilor de stare pentru apă şi abur pentru calculul cu ajutorul maşinilor numerice a cazanelor de abur.* În: Energie, nr. 6, 1962.

[2] Kruse, H. *Utilizarea instalaţiilor de calculat electronice pentru procese în centralele termoelectrice.* În: BWK, nr. 5, 1964.

[3] Ciucu, G. şi Craiu, V. *Teoria estimaţiei şi verificarea ipotezelor statistice.* Ed. didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1968.


(Articol intrat în redacţie la 2 septembrie 1971)

# Soluții moderne de realizare a instalațiilor de producere a curentului continuu în centralele și stațiile electrice

Ing. V. Grigoriu*)

Rolul deosebit de important al instalațiilor de curent continuu în asigurarea funcționării protecțiilor, a automatizărilor, precum și a altor consumatori vitali din centralele și stațiile electrice, a stimulat în permanență preocupările pentru perfecționarea schemelor și a echipamentelor utilizate la producerea curentului continuu.

Dacă în domeniul fabricației bateriilor de acumulatoare, în decursul ultimilor ani, nu au intervenit transformări importante, tehnica realizării agregatelor de încărcare a bateriilor de acumulatoare a înregistrat progrese evidente, facilitate în mod deosebit de perfecționarea fabricației diodelor semiconductoare comandate (tiristoare).

Ca urmare a realizării redresoarelor cu tiristoare cu reglaj automat al tensiunii continue, au fost posibile îmbunătățirea condițiilor de exploatare a bateriilor de acumulatoare, precum și simplificarea substanțială a schemelor de încărcare, prin aceasta realizîndu-se o creștere importantă a gradului de siguranță în funcționare.

**Principii noi ale regimurilor de funcționare a redresoarelor automatizate și a bateriilor de acumulatoare**

În prezent este generalizată practica folosirii schemelor în care, în regim normal de funcționare, redresoarele furnizează curentul de întreținere al bateriilor de acumulatoare și al consumatorilor permanenți.

Schemele actuale, folosind redresoare fără tensiune constantă (redresoare cu pantă), prezintă următoarele dezavantaje:

— pentru fiecare baterie se utilizează de regulă două redresoare: unul pentru regimul de încărcare permanentă și altul care intervine suplimentar în regimul de încărcare ocazională (fig. 1);

— toate variațiile tensiunii alternative de alimentare, precum și cele ale curentului absorbit de consumatori antrenează o variație (atît ca valoare cît și ca sens) a curentului prin bateria de acumulatoare; astfel, dacă tensiunea alternativă crește, iar curentul la consumatori scade, curentul prin baterie îl va depăși pe cel normal de întreținere, iar aceasta se va supraîncărca. Dacă tensiunea alternativă scade și curentul la consumatori crește, bateria va debita curent, existînd în acest fel pericolul descărcării în timp și al sulfatării premature;

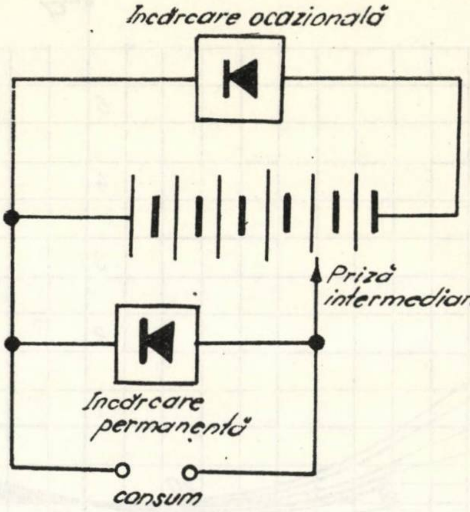



Fig. 1

— la trecerea dintr-un regim în altul intervin în schemă o serie de aparate de comutare care diminuează gradul de siguranță al schemei;

— presupun o exploatare mai pretențioasă în ceea ce privește reglarea manuală a treptelor de curent constant în regimul de încărcare ocazională;

— duc la o uzură neuniformă a elementelor bateriei.

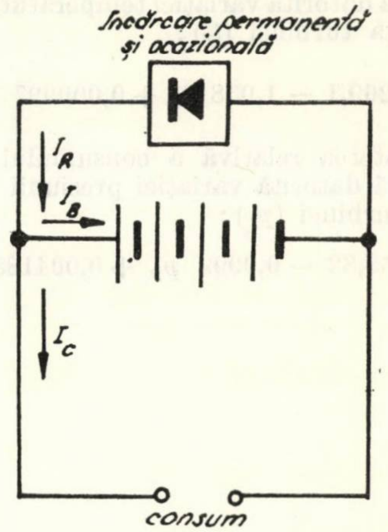



Fig. 2

Redresorul cu tensiune constantă, folosit atît pentru încărcarea permanentă cît și pentru cea ocazională, înlătură dezavantajele indicate mai sus, permițînd utilizarea unei scheme de încărcare deosebit de simplă (fig. 2).

---

*) V. Grigoriu este inginer principal în cadrul Direcției tehnice din Ministerul Energiei Electrice.

De asemenea, prin menţinerea unei tensiuni constante la bornele bateriei, aceasta va fi străbătută de un curent care compensează în fiecare moment necesităţile bateriei, datorate stării reale de încărcare, îmbătrînirii, temperaturii etc.

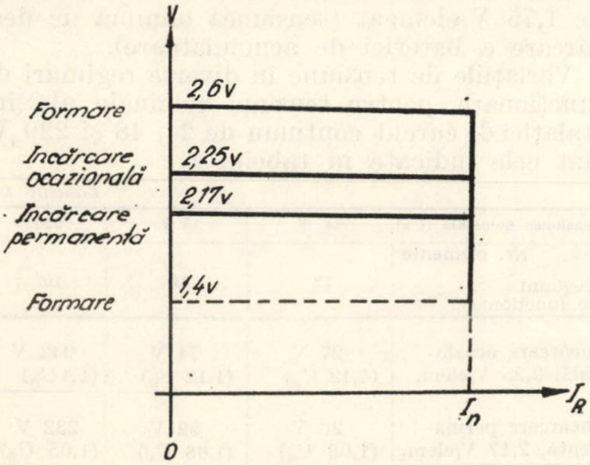



Fig. 3

Un element deosebit de important asociat redresoarelor cu tensiune constantă îl constituie limitatorul de curent, al cărui rol constă în protejarea elementelor redresoarelor atunci cînd valoarea curentului cerut o depăşeşte pe cea nominală, precum şi în evitarea supracurenţilor prin bateriile de acumulatoare.

Caracteristicile de funcţionare a redresoarelor cu reglaj automat al tensiunii continue şi cu limitarea curentului (fig. 3) sînt, în principal, următoarele:

— curentul nominal al redresorului: $I_R = I_C + I_B'$,
în care:

$I_C$ este curentul permanent al consumatorilor în regim normal;

$I_B'$ — curentul de încărcare al bateriei.

Valoarea optimă a lui $I_B$ este 0,1 $C$ ($C$ este capacitatea bateriei corespunzătoare regimului de descărcare de 10 ore).

Să menţionează în mod deosebit importanţa reglajului de $\pm 1\%$ al tensiunii redresate asupra valorii curentului de întreţinere $i$ necesar bateriei.

Dacă tensiunea redresată se abate de la valoarea prescrisă cu $\pm 2\%$, valoarea curentului de întreţinere devine $3i$.

Schema de principiu a redresoarelor cu reglaj automat al tensiunii şi limitare de curent este cea indicată în figura 4.

Valoarea tensiunii redresate este menţinută constantă în limitele $\pm 1\%$ prin intermediul adaptorului care comandă tiristoarele în funcţie de variaţia următorilor parametrii:

— tensiunea în reţeaua de curent alternativ în limitele (0,85...1,1) $U_n$;

— curentul debitat în limitele de la 0 la $I_n$ (valori superioare sînt reduse la curentul nominal prin intermediul limitatorului de curent);

— temperatura mediului în limitele —10... +40°C.

În cazul dispariţiei tensiunii de alimentare alternative, în funcţie de durata acestei pauze, dispozitivul de automatizare poate comanda trecerea la unul dintre următoarele regimuri de încărcare la repartiţia tensiunii alternative:

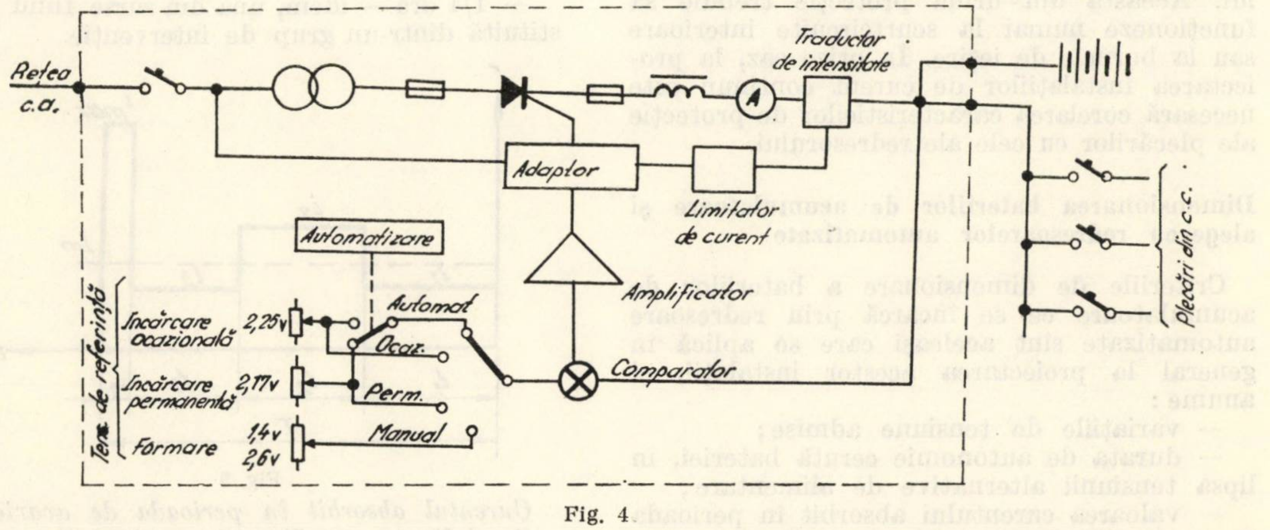



Fig. 4

— tensiunea de încărcare permanentă: 2,17 V $\pm$ 1 % pe element;

— tensiunea de încărcare ocazională: 2,25 V $\pm$ 1 % pe element;

— reglajul manual al tensiunii pentru formarea bateriei: 1,4 la 2,6 V pe element;

— dacă pauza de curent nu depăşeşte 5 min, se consideră că descărcarea bateriei este neglijabilă şi se revine la palierul de tensiune constantă, corespunzătoare regimului de încărcare permanentă (2,17 V/element);

— dacă pauza de curent depășește 5 min, un releu de timp cu posibilități de reglaj de 1—24 ore comandă trecerea pe palierul de încărcare ocazională (2,25 V/element). După trecerea timpului reglat, se revine automat la regimul de încărcare permanentă.

Din datele de exploatare a acestor tipuri de redresoare [1] rezultă că o baterie descărcată cu 80 % din capacitate se reîncarcă în acest fel pînă la 85 % din capacitate, într-un interval de 10 ore (cu un curent de încărcare de 0,1 C), durata de încărcare completă fiind de circa 24 ore.

Un avantaj deosebit de important în folosirea acestor redresoare îl constituie faptul că tensiunea de încărcare ocazională (2,25 V/element) este, pe de o parte, suficientă pentru asigurarea încărcării în bune condiții a bateriilor, iar, pe de altă parte, este inferioară tensiunii de degajare a gazelor (2,3—2,4 V/element). În acest fel se creează posibilitatea instalării redresoarelor și a dulapurilor de curent continuu în aceeași încăpere cu bateriile de acumulatoare și, în același timp, se poate renunța la unele măsuri care se iau în prezent pentru evitarea pericolului de explozie (prevederea instalațiilor de ventilație mecanică, automatizarea pornirii acestor instalații la încărcarea bateriei, oprirea încărcării la defectarea instalației de ventilație etc.).

Pentru asigurarea selectivității protecției în caz de scurtcircuit pe o plecare sau a debitării pe o baterie în scurtcircuit sau foarte descărcată, redresoarele trebuie să permită trecerea unui curent suficient de mare, pentru ca protecția plecării respective să poată funcționa fără să intervină protecția proprie a redresorului. Această din urmă protecție trebuie să funcționeze numai la scurtcircuite interioare sau la bornele de ieșire. În orice caz, la proiectarea instalațiilor de curent continuu este necesară corelarea caracteristicilor de protecție ale plecărilor cu cele ale redresorului.

**Dimensionarea bateriilor de acumulatoare și alegerea redresoarelor automatizate**

Criteriile de dimensionare a bateriilor de acumulatoare ce se încarcă prin redresoare automatizate sînt aceleași care se aplică în general la proiectarea acestor instalații, și anume:

— variațiile de tensiune admise;

— durata de autonomie cerută bateriei, în lipsa tensiunii alternative de alimentare;

— valoarea curentului absorbit în perioada de avarie (lipsa tensiunii alternative).

*Variațiile de tensiune admise*

Variațiile de tensiune la bateriile de acumulatoare sînt dictate de cele admise de receptoarele de curent continuu. Aceste variații sînt în general cuprinse între +10% $U_n$ și −15 % $U_n$ sau −20 % $U_n$.

Valoarea inferioară trebuie verificată la sfîrșitul perioadei de avarie, considerînd că peste curentul de lungă durată de avarie se suprapune curentul de șoc.

Această valoare nu trebuie să fie mai mică de 1,75 V/element (tensiunea minimă de descărcare a bateriei de acumulatoare).

Variațiile de tensiune în diverse regimuri de funcționare, pentru tensiuni nominale ale instalației de curent continuu de 24, 48 și 220 V, sînt cele indicate în tabelul 1.

*Tabelul 1*

| Tensiunea nominală ($U_n$) | 24 V | 48 V | 220 V |
|---|---|---|---|
| Nr. elemente / Regimul de funcționare | 12 | 24 | 107 |
| Încărcare ocazională, 2,25 V/elem. | 27 V (1,12 $U_n$) | 54 V (1,12 $U_n$) | 242 V (1,1 $U_n$) |
| Încărcare permanentă, 2,17 V/elem. | 26 V (1,08 $U_n$) | 52 V (1,08 $U_n$) | 232 V (1,05 $U_n$) |
| Avarie (sfîrșitul perioadei), 1,75 V/elem. | 21 V (0,88 $U_n$) | 42 V (0,88 $U_n$) | 187 V (0,85 $U_n$) |

*Durata de autonomie*

Conform normelor în vigoare, această durată variază în funcție de modul în care se realizează alimentarea cu tensiune alternativă, fiind egală cu:

— 3 ore — pentru o singură sursă (sau cale de alimentare);

— 1 oră — pentru două surse independente și două căi de alimentare;

— 1/4 oră — idem, una din surse fiind constituită dintr-un grup de intervenție.

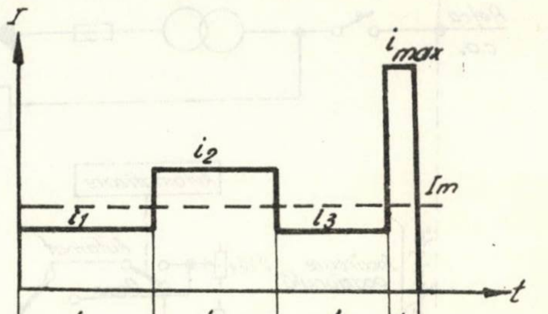



Fig. 5

*Curentul absorbit în perioada de avarie*

Se definesc următoarele noțiuni legate de acest curent (fig. 5), și anume:

— intensitatea medie

$$I_m = \frac{i_1 t_1 + i_2 t_2 + \ldots + i_n t_n}{T},$$

în care

$T$ este durata de autonomie (de descărcare);

$t_1, t_2 \ldots t_n$ — duratele în care intensitatea poate fi considerată egală cu $i_1, i_2 \ldots i_n$;

— coeficientul de supracurent $c_s = \frac{i_{max}}{I_m}$, în care $i_{max}$ este intensitatea maximă absorbită în perioada de descărcare (se consideră, de regulă, la sfîrşitul perioadei de descărcare).

În funcţie de parametrii indicaţi mai sus (variaţiile de tensiune admise, durata de autonomie, intensitatea medie şi coeficientul de supracurent), în tabelele 2, 3 şi 4 sînt indicate tipurile de baterii de acumulatoare corespunzătoare.

Tabelul 2

T = 3h

| $C_s$ ↑ / Intensitatea medie $I_m$ | 72 Ah Ls-2 | 144 Ah Ls-4 | 216 Ah Ls-6 | 288 Ah Ls-8 | 360 Ah Ls-10 | 432 Ah Ls-12 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | R16 6 | R25 12 | R40 19 | 25 | R63 31 | R100 37 |
| 5 | 9 | 17 | 26 | 34 | 43 | 52 |
| 3 | 11 | 21 | 32 | 42 | 53 | 64 |
| 2 | 12 | 24 | 37 | 49 | 61 | 77 |
| 1 | R25 14 | R40 27 | R63 41 | 54 | R100 68 | R160 82 |

Tabelul 3

T = 1h

| $C_s$ ↑ / Intensitatea medie $I_m$ | 72 Ah Ls-2 | 144 Ah Ls-4 | 216 Ah Ls-6 | 288 Ah Ls-8 | 360 Ah Ls-10 | 432 Ah Ls-12 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | R16 8 | R40 15 | 22 | R63 30 | R100 37 | 44 |
| 5 | R25 13 | 26 | 38 | 51 | 64 | 77 |
| 3 | 17 | 34 | 52 | 69 | 86 | 103 |
| 2 | 21 | 42 | 64 | 85 | 106 | 127 |
| 1,5 | 24 | 47 | 71 | 94 | 118 | 142 |
| 1 | R40 26 | R63 53 | R100 79 | 106 | R160 132 | R250 158 |

Tabelul 4

T = 0,25h

| $C_s$ ↑ / Intensitatea medie $I_m$ | 72 Ah Ls-2 | 144 Ah Ls-4 | 216 Ah Ls-6 | 288 Ah Ls-8 | 360 Ah Ls-10 | 432 Ah Ls-12 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | [illegible] 9 | R40 18 | 27 | R63 36 | 44 | R100 54 |
| 6 | [illegible] 13 | 26 | 39 | 52 | 65 | 78 |
| 3 | R40 24 | 48 | 72 | 96 | 120 | 144 |
| 2 | 32 | 64 | 96 | 128 | 160 | 192 |
| 1,5 | 40 | 80 | 120 | 160 | 200 | 240 |
| 1,2 | 48 | 96 | 144 | 192 | 240 | 288 |
| 1 | [illegible] 56 | [illegible] 112 | 168 | R250 224 | 280 | R400 336 |

Determinarea curentului nominal al redresorului automatizat se face, după cum s-a arătat, prin însumarea curentului permanent al consumatorului în regim normal de funcţionare ($I_c$) cu valoarea curentului de încărcare a bateriei ($I_B = 0{,}1\ C$).

În cazul particular cînd curentul în regim normal este egal cu cel din regimul de avarie ($I_c = I_m$), în tabelele 2, 3, 4 se indică valorile curenţilor nominali ai redresoarelor (cele notate cu indicele $R$), considerind gama curenţilor nominali de 16, 25, 40, 63, 100, 160, 250, 400 A.

**Exemple de folosire a tabelelor 2, 3, 4**

*Ex.* 1 : *Date* : $U_n = 48$ V ; $I_m = I_c = 25$ A ; $i_{max} = 100$ A ; $T = 1$ h

*Rezolvare* : $C_s = 4$.
Din tabelul 3, rîndul 2 ($C_s = 5$) şi coloana 2 ($I_m = 26$ A) rezultă o baterie de 144 Ah (Ls-4) şi un redresor de 40 A.

*Ex.* 2 : *Date* : $U_n = 220$ V ; $I_c = 35$ A ; $I_m = 15$ A ; $i_{max} = 120$ A ; $T = 3$ h

*Rezolvare*: $C_s = 8$

Din tabelul 2, rîndul 1 ($C_s = 10$) şi coloana 3 ($I_m = 19$ A) rezultă o baterie de 216 Ah (Ls-6). Curentul nominal al redresorului va fi:

$$I_R = I_c + 0{,}1C = 35 + 21{,}6 = 56{,}6 \text{ A}$$

Rezultă un redresor de 63 A.

## Concluzii

Folosirea redresoarelor cu tiristoare automatizate (tensiune constantă $\pm 1\%$ şi limitarea curentului debitat) creează în prezent premise pentru simplificarea şi îmbunătăţirea condiţiilor de exploatare a instalaţiilor de producere a curentului continuu din centralele şi staţiile electrice.

Costul mai ridicat al acestor redresoare faţă de cele folosite în prezent poate fi pe deplin compensat prin reducerea numărului de redresoare (se foloseşte acelaşi redresor atît pentru încărcarea permanentă, cît şi pentru cea ocazională), renunţarea la o serie de aparate de conectare folosite la schemele cu priză intermediară, precum şi la numărul de elemente suplimentare ale bateriei de acumulatoare (cele de reglaj).

Prin limitarea tensiunii de încărcare ocazională la valoarea de 2,25 V/element, care este inferioară celei de degajare a gazelor (2,3—2,4 V/element), se poate renunţa la instalaţia de ventilaţie mecanică şi a automatizărilor respective, iar pe de altă parte se creează posibilitatea montării în aceleaşi încăperi cu bateria de acumulatoare a redresoarelor şi eventual şi a dulapurilor de curent continuu.

**Bibliografie**


[1] Nicolas, G. *Principes de charges des batteries d'accumulateurs.* Revue technique Merlin-Gerin, nr. 54.

[2] Nicolas, G. şi Calvas, R. *Alimentations permanents à courant continu et alternatif.* Revue technique Merlin-Gerin, nr. 57.

[3] Schauerhammer, P. şi Wartenberg, W. *Gleichstromanlagen in Dampfkraftwerken.* Elektrizitätswirtschaft, nr. 5,1965.


(Articol intrat în redacţie la 16 decembrie 1971)

# O metodă de determinare a parametrilor motoarelor asincrone

Ing. D.M. Potlog şi ing. V. Rugină*)

Pentru studiul comportării în regimuri tranzitorii a acţionărilor industriale cu motoare asincrone, se utilizează [2], [3], [4] metoda modelării matematice a acestora. Folosirea modelelor matematice presupune cunoaşterea parametrilor electrici şi mecanici ai acţionărilor studiate.

În condiţii industriale, determinarea experimentală a unor parametri ai motorului (de exemplu reactanţele) este posibilă numai în unele cazuri particulare (motoare cu rotor bobinat). De asemenea, unele măsurători directe (de exemplu măsurarea rezistenţelor) implică utilizarea de coeficienţi de corecţie medii (de exemplu corecţia de temperatură, corecţia relativă la valoarea rezistenţelor în curent alternativ), care afectează gradul de precizie al valorilor obţinute.

Metoda prezentată în continuare evită atît dificultăţile ridicate de efectuarea măsurătorilor clasice pe maşini funcţionînd direct în procese de producţie, cît şi erorile introduse de aceste măsurători. Această metodă se bazează pe faptul că orice model matematic — format din mai multe ecuaţii diferenţiale, atunci cînd se referă la comportarea în regim dinamic a maşinii, sau liniare, cînd se referă la comportarea în regim staţionar — trebuie să redea, cît mai exact, fenomenele reale studiate. În cazul regimurilor staţionare, un anumit model este format din una sau mai multe ecuaţii, în care coeficienţii sînt parametri ai maşinii (rezistenţe, reactanţe etc.), iar necunoscutele sînt curenţii, tensiunile, fluxurile etc.

Dacă prin măsurători se pot cunoaşte valorile pentru aceste mărimi electrice, pentru unul sau mai multe regimuri staţionare (şi în general acest lucru este posibil fără dificultăţi), se obţine un sistem de ecuaţii în care necunoscutele sînt tocmai parametrii maşinii şi pot fi determinate prin rezolvarea sistemului.

În aceasta constă principiul metodei descrise în continuare.

Odată obţinute valorile parametrilor, ele pot fi folosite la rezolvarea ecuaţiilor diferenţiale ce descriu comportarea maşinii în regim dinamic.

### 1. Parametrii electrici şi ecuaţiile în regim staţionar ale motorului asincron

Fie un motor asincron cu rotor bobinat avînd parametrii:

$R_S$, $R'_R$ — rezistenţa pe fază a înfăşurării statorice, respectiv cea a înfăşurării rotorice, raportată la stator;

*) Ing. Dorin Marcel Potlog este cercetător principal la ICENERG; Vasile Rugină este inginer la ICENERG.

$X_S$, $X'_R$ — reactanța pe fază (proprie + cea de dispersie) a înfășurării statorice, respectiv cea a înfășurării rotorice, raportată la stator;

$X'_m$ — reactanța mutuală, între o înfășurare statorică și una rotorică, atunci cînd axele lor sînt suprapuse.

Cu acești parametri ecuațiile mașinii în regim staționar (luînd tensiunea statorică drept origine de fază) se pot scrie:

$$\underline{U}_S = (R_S + jX_S)\,\underline{I}_S + jX'_m \underline{I}'_R \quad (1)$$

$$0 = jsX'_m \underline{I}_S + (R'_R + js\,X'_R)\,\underline{I}'_R \quad (2)$$

$$\underline{I}_\mu = \underline{I}_S + \underline{I}'_R. \quad (3)$$

Notînd

$$\frac{R_S}{X_S} = m_S;\quad \frac{R'_R}{X'_R} = m_R;\quad \frac{X'_m}{X_S} = \sigma'_S;\quad \frac{X'_m}{X'_R} = \sigma'_R, \quad (4)$$

ecuațiile (1)—(3) devin:

$$\frac{U_S}{X_S} = (m_S + j)\,\underline{I}_S + j\,\sigma'_S\,\underline{I}'_R \quad (5)$$

$$0 = js\sigma'_R\,\underline{I}_S + (m_R + js)\,\underline{I}'_R \quad (6)$$

$$\underline{I}_\mu = \underline{I}_S + \underline{I}'_R. \quad (7)$$

Acestor ecuații le corespunde, pentru studierea regimurilor tranzitorii [4], un model matematic în componența căruia intră aceiași parametri electrici. Atît ecuațiile (5)—(7) cît și modelul menționat își păstrează aceeași formă și pentru motorul asincron cu rotorul în colivie, cu unele modificări în ceea ce privește definirea parametrilor legați de rotor.

## 2. Determinarea parametrilor electrici ai motorului

Se presupune că există posibilitatea obținerii prin măsurători experimentale a unor date referitoare numai la stator (tensiune, curent, factor de putere) și la turație (alunecare), care caracterizează cîteva regimuri staționare de funcționare.

2.1. *Motorul asincron fără efect pelicular* (motorul cu rotor bobinat sau cu rotor cu colivie simplă).

La acest tip de motor, parametrii rotorici se pot presupune independenți de alunecare.

Din sistemul de ecuații (5)—(7) rezultă expresia curentului statoric:

$$\underline{I}_S = \frac{U_S}{X_S}\,\frac{m_R + js}{(m_S m_R - s\,\sigma_B) + j(m_R + sm_S)} = I_{sa} - jI_{sr}, \quad (8)$$

în care s-a notat

$$\sigma_B = 1 - \sigma'_S \cdot \sigma'_R \quad (9)$$

Relația (8) se mai poate scrie

$$\frac{U_S}{I_{sa} - jI_{sr}} = \frac{R_s m_R - sX_s\sigma_B + j(X_s m_R + sR_s)}{m_S + js} = M + jN, \quad (10)$$

unde s-au notat:

$$\frac{U_S}{I^2_{Sa} + I^2_{Sr}}\,I_{sa} = M;\quad \frac{U_S}{I^2_{Sa} + I^2_{Sr}} = N. \quad (11)$$

Dacă se cunosc două regimuri de funcționare caracterizate prin $s_1$, $s_2$, $M_1$, $M_2$, $N_1$, $N_2$, atunci din expresia (10) (egalînd părțile reale între ele și pe cele imaginare) se poate scrie sistemul de ecuații:

$$\begin{aligned} R_S m_R - s_1 X_S\,\sigma_B - m_R M_1 + s_1 N_1 &= 0\\ R_S m_R - s_2 X_S\,\sigma_B - m_R M_2 + s_2 N_2 &= 0\\ s_1 R_S + X_S m_R - m_R N_1 - s_1 M_1 &= 0\\ s_2 R_s + X_S m_R - m_R N_2 - s_2 M_2 &= 0, \end{aligned} \quad (12)$$

în care necunoscutele sînt: $R_s$, $X_s$, $m_R$, $\sigma_S$.

Rezolvînd acest sistem, se obțin:

$$m_R = 2/(B + \sqrt{B^2 + 4c}) \quad (13)$$

$$R_S = \frac{1}{s_1 - s_2}\left[(N_1 - N_2)\frac{s_1 s_2}{m_R} - s_2 M_1 + s_1 M_2\right] \quad (14)$$

$$X_S = N_1 + \frac{s_1}{m_R}(M_1 - R_S) \quad (15)$$

$$\sigma_B = \frac{1}{X_S}\left[N_1 - \frac{m_R}{s_1}(M - R_S)\right] \quad (16)$$

$$m_s = R_S/X_S, \quad (17)$$

unde s-au notat:

$$B = \frac{(s_1 + s_2)(M_1 - M_2)}{s_1 s_2 (N_1 - N_2)};\quad C = \frac{1}{s_1 \cdot s_2}.$$

Pentru determinarea celorlalți parametri (neavînd alte date referitoare la rotor) se apelează la aproximația care se face curent:

$$\underline{I}_\mu \cong \underline{I}_{\mu(S=0)}. \quad (18)$$

Din sistemul (5)—(7) rezultă:

$$\underline{I}_{\mu(S=0)} = \frac{U_S}{X_S}\cdot\frac{1}{m_s + j} = I_{\mu oa} - j\,I_{\mu or} \quad (19)$$

sau

$$I_{\mu oa} = \frac{U_S}{X_S}\cdot\frac{m_s}{1 + m_S^2};\quad I_{\mu or} = \frac{U_S}{X_S}\cdot\frac{1}{1 + m_S^2}. \quad (20)$$

Din ecuația (7) se poate scrie:

$$I'_R \cong [(I_{\mu oa} - I_{sa})^2 + (I_{\mu or} - I_{sr})^2]^{1/2}.$$

Introducînd în această relaţie expresiile lui $I_{sa}$ şi $I_{sr}$, rezultate din (8), şi $I_{\mu oa}$ şi $I_{\mu or}$ din (20), se obţine în final:

$$I'_R \cong \frac{U_S}{X_S} \cdot \frac{s(1-\sigma_B)}{\sqrt{(1+m_S^2)[(m_S m_R - s\sigma_B)^2 + (m_R + s m_S)^2]}}. \tag{21}$$

Pe de altă parte, din sistemul (5)—(6) rezultă:

$$I'_R = \frac{U_S}{X_S} \cdot \frac{s\sigma'_R}{\sqrt{(m_S m_R - s\sigma_B)^2 + (m_R + s m_s)^2}}. \tag{22}$$

Din (21) şi (22) se poate determina:

$$\sigma'_R \cong \frac{1-\sigma_B}{\sqrt{1+m_S^2}} \tag{23}$$

şi, în continuare, ţinînd seama de relaţiile (4) şi (9):

$$\sigma'_S = \frac{1-\sigma_B}{\sigma'_R} \cong \sqrt{(1+m_S^2)}$$

$$X'_m = X_S\, \sigma'_S \cong X_S \sqrt{1+m_S^2} \tag{24}$$

$$X'_R = \frac{X'_m}{\sigma'_R} \cong X_S \frac{1+m_S^2}{1-\sigma_B}$$

$$R'_R = m_R X'_R \cong m_R X_S \frac{1+m_S^2}{1-\sigma_B}.$$

În consecinţă, toţi parametrii au fost determinaţi. Evident, relaţia (21) fiind o aproximare, calculele efectuate în continuare cu valoarea $I'_R$, obţinută din această relaţie, vor furniza tot nişte valori aproximate. Pentru estimarea influenţei produse de aproximarea admisă asupra mărimilor care se urmăresc în modelare, se poate face următorul raţionament:

Fie $I'_{R\varepsilon} = I'_R\,(1+\varepsilon)$ valoarea aproximată a modulului curentului rotoric obţinut cu relaţia (21), în care $\varepsilon = \dfrac{I'_{R\varepsilon} - I'_R}{I'_R}$ este eroarea relativă faţă de valoarea exactă $I'_R$.

Calculînd în continuare parametrii cu relaţiile (23) şi (24), se obţin:

$$\sigma'_{R\varepsilon} = \sigma'_R(1+\varepsilon)\,;\quad \sigma'_{S\varepsilon} = \sigma'_S \frac{1}{1+\varepsilon}\,;\quad X'_{m\varepsilon} = X'_m \frac{1}{1+\varepsilon}\,;$$

$$X'_{R\varepsilon} = X'_R \frac{1}{(1+\varepsilon)^2}\,;\quad R'_{R\varepsilon} = R'_R \frac{1}{(1+\varepsilon)^2}.$$

Se pot formula următoarele observaţii asupra preciziei cu care se vor obţine mărimile electrice, utilizînd parametrii aproximativi de mai sus:

— mărimile statorice (curentul, pierderile în cupru etc.) rezultate vor avea valorile precise, deoarece aproximarea nu a afectat nici un parametru care intră în expresiile acestora;

— curentul rotoric se va obţine cu o eroare $\varepsilon$;

— pierderile în cupru rotorice aproximate vor fi:

$$P_{Cu\,R\varepsilon} = 3\,R'_{R\varepsilon} I'^2_{R\varepsilon} = 3\,R'_R \frac{1}{(1+\varepsilon)^2} \cdot I^2_{R'}(1+\varepsilon)^2 = P_{CuR}$$

deci şi pentru această mărime se va obţine valoarea exactă.

Ţinînd seama de aceasta, rezultă că pentru puterea electromagnetică

$$P_{emg} = \frac{P_{Cu\,R}}{s}$$

şi pentru cea mecanică:

$$P_{mec} = (1-s)\,P_{emg}$$

valorile obţinute vor fi cele exacte.

În consecinţă şi pentru cuplul motor:

$$C_m = \frac{P_{mec}}{(1-s)\,\Omega_S}$$

se va obţine valoarea exactă.

Pentru o orientare asupra ordinului de mărime a erorilor introduse de metodă s-au calculat, ca mai sus, parametrii unui grup de şase motoare cu rotor bobinat, de fabricaţie „Electroputere", la care s-au putut cunoaşte parametrii exacţi.

În tabelul 1 se prezintă erorile relative ale valorilor calculate faţă de cele exacte. Calculele s-au efectuat pe un calculator numeric de tip IBM-360.

Cu aceşti parametri s-au calculat curentul statoric, pierderile în cuprul rotoric, puterea mecanică şi curba cuplului motor în funcţie de alunecare, atît în regim staţionar cît şi pentru cîteva regimuri tranzitorii (la goluri de tensiune în alimentarea motorului).

Rezultatele au confirmat întru totul observaţiile teoretice prezentate mai sus.

2.2. *Motorul asincron cu efect pelicular* (motorul cu rotor cu bare înalte)

La acest tip de motoare asincrone, parametrii rotorici depind de alunecare [1], [2] după expresii de forma:

$$R'_R = R'_{R_r} \cdot K_a + R'_{RC} \tag{25}$$

$$X'_R = X'_{R_r} \cdot K_X + X'_{RC}, \tag{26}$$

*Tabelul 1*

| Puterea nominală, kW | $p$ | Eroarea relativă pentru mărimea calculată ε, % | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $I'_R$ | $R'_R$ | $X'_R$ | $X'_m$ | $\sigma'_S$ | $\sigma'_R$ |
| 200 | 4 | 2,9113 | −5,5779 | −5,5779 | −2,8290 | −2,8290 | 2,9113 |
| 400 | 4 | 2,6669 | −5,1278 | −5,1278 | −2,5976 | −2,5976 | 2,6669 |
| 500 | 4 | 3,9366 | −7,4315 | −7,4315 | −3,7875 | −3,7875 | 3,9366 |
| 630 | 4 | −0,7647 | 1,5470 | 1,5470 | 0,7706 | 1,5470 | −0,7647 |
| 800 | 4 | −0,2584 | 0,5188 | 0,5188 | 0,2591 | 0,5188 | −0,2584 |
| 1 250 | 3 | −1,0191 | 1,0295 | 1,0295 | 0,5135 | 1,0295 | −1,0191 |

în care

$$K_a = \xi \frac{\text{sh}2\xi + \sin 2\xi}{\text{ch}2\xi - \cos 2\xi}; K_x = \frac{3}{2\xi} \cdot \frac{\text{sh}\, 2\xi - \sin 2\xi}{\text{ch}\, 2\xi - \cos 2\xi}, \tag{27}$$

unde

$$\xi = \beta \sqrt{s} \left(\beta = h \sqrt{\frac{\omega\, \mu_0}{2\rho_{75}} \cdot \frac{b_b}{b_c}}\right);$$

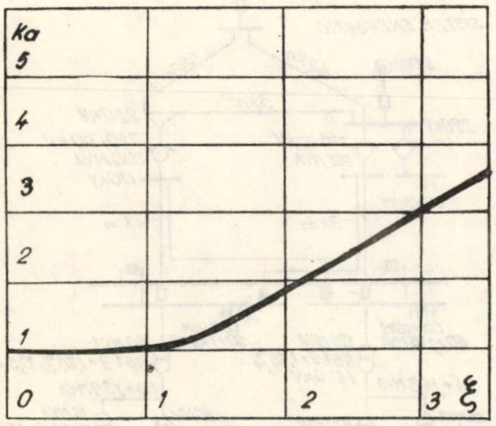



Fig. 1

| | |
|---|---|
| $h$ | este înălţimea barei, cm; |
| $b_b$ | — lăţimea secţiunii barei, cm; |
| $b_c$ | — lăţimea crestăturii, cm; |
| $\mu_0$ | — $4\pi 10^{-9}$ H cm; |
| $\rho_{75}$ | — rezistivitatea specifică a barei, Ωcm; |
| $\omega$ | — $2\pi f$. |

Aplicarea metodei expuse de determinare a parametrilor electrici se poate face pe baza observaţiei că, în domeniul alunecărilor mici, parametrii rotorici se pot considera constanţi. Acest fapt rezultă din reprezentarea funcţiilor $K_a(\xi)$ şi $K_x(\xi)$ (fig. 1 şi 2), din care reiese că în domeniul $\xi < 0{,}8$, $K_a = K_x = 1$.

Dacă se cunosc două regimuri în acest domeniu, folosind modul de calcul descris la pct. 2.1., se pot determina: $R_s$, $X_s$, $R'_{RK} = R_{R'v} + R_{R'c}$, $X_{R'k} = X_{R'v} + X_{R'c}$, $X'_m$, respectiv: $m_s$, $m_{RK}$, $\sigma'_s$, $\sigma'_{RK}$, $\sigma_{BK}$ (indicele $K$ arătînd că este vorba de parametri constanţi).

Fie cunoscut un al treilea regim (caracterizat prin indicele 3) la o alunecare la care parametrii rotorici nu mai pot fi consideraţi constanţi.

Pentru acest regim se pot scrie ecuaţii similare cu (12):

$$\begin{aligned} R_s\, m_{R_3} - s_3 X_s \sigma_B - M_3 m_{R_3} + s_3 N_3 &= 0 \\ s_3 R_S - X_S m_{R_3} - N_3 m_{R_3} - s_3 M_3 &= 0, \end{aligned} \tag{28}$$

din care rezultă:

$$m_{R_3} = \frac{s_3 (M_3 - R_s)}{X_s - N_3} \tag{29}$$

$$\sigma_{R_3} = \frac{s_3 N_3 - m_{R_3}(M_3 - R_s)}{s_3 X_s}. \tag{30}$$

Se pot calcula în continuare:

$$\sigma'_{R_3} = \frac{1 - \sigma_{B3}}{\sigma'_S} \tag{31}$$

$$X'_{R_3} = \frac{X'_m}{\sigma'_{R_3}} = X'_{RV} K_{X_3} + X'_{RC};\ R'_{R_3} = m_{R_3} X'_{R_3} = R'_{RV} \cdot K_{a_3} + R'_{RC} \tag{32}$$

dacă se cunoaşte valoarea lui β, respectiv $K_{a_3}$ şi $K_{x_3}$, din relaţiile care dau pe $R_{R'_k}$, $R_{R'_3}$, $X_{R'_k}$, $X_{R'_3}$, vor rezulta:

$$R'_{RV} = \frac{R'_{R_3} - R'_{RK}}{K_{a_3} - 1} \qquad R'_{RC} = \frac{R'_{RK} \cdot K_{a_3} - R'_{R_3}}{K_{a_3} - 1}$$

$$X'_{RV} = \frac{X'_{R_3} - X'_{RK}}{K_{X_3} - 1} \qquad X'_{RC} = \frac{X'_{RK} \cdot K_{X_3} - X'_{R_3}}{K_{X_3} - 1}.$$

În acest fel, parametrii maşinii sînt determinaţi.

**Concluzii**

Plecînd de la ecuaţiile regimului staţionar ale motorului asincron, s-a elaborat o metodă de determinare a parametrilor electrici ai acestuia.

Metoda prezintă avantajul de a necesita date primare, care se pot obţine uşor prin măsurători, chiar în condiţii industriale.

Aproximarea introdusă pe parcursul calculelor nu influenţează precizia cu care se obţin mărimile ce se urmăresc (cu excepţia curentului rotoric).

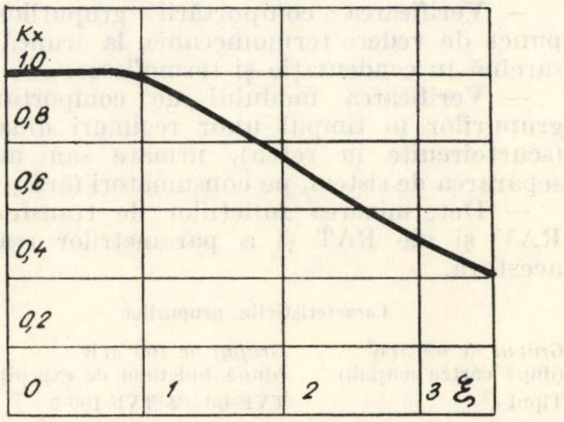



Fig. 2

**Bibliografie**


[1] N ü r n b e r g, W. *Die Asynchronmaschine*. Springer Verlag, Berlin, 1952.

[2] B e r t r a n d, P. *Comportement des moteurs lors de l'apparition d'un creux de tension*. ACEC, Charleroi, 1967.

[3] H a r a d a, K. şi I m a i z u m i, H. *Characteristics of Induction Motors under the Instantaneous Voltage Dip of the Power System*. Kyushu El. Power, Tokio, 1967.

[4] M i h ă i l e a n u, C. ş.a. *Efectele golurilor de tensiune asupra instalaţiilor şi utilajelor electrice ale CIA Tg Mureş*, ICENERG, Bucureşti, 1970.



(Articol intrat în redacţie la 4 ianuarie 1972)

# Probele efectuate la grupurile de 60 și 100 MW de la CET Galați*)

Ing. Gh. Crețu**)

Pentru mărirea siguranței în alimentarea consumatorilor metalurgici racordați la barele de 110 kV pe care debitează grupurile de 60 și de 100 MW de la CET Galați, s-au făcut o serie de probe la aceste grupuri, și anume :

— probe de AAR ale serviciilor interne, după pauze de 1,84, 2,7 și 3,88 s ;

— probe de aruncări de sarcină în condensație și termoficare, de la plină sarcină sau de la o sarcină mai redusă pe sarcina zero sau pe servicii interne ;

— probe de scurtcircuit pe barele de 110 kV, urmate fie de separarea grupurilor de la rețea, fie de resincronizarea acestora, în cazul în care după eliminarea defectului au rămas în paralel cu sistemul energetic și au intrat în pendulări ;

— probe pentru determinarea parametrilor RAV și RAT.

## Scopul probelor și al măsurătorilor

Scopul principal al probelor a constat în următoarele :

— Verificarea modului de separare de sistem a grupurilor de 60 și de 100 MW și rămînerea în funcționare insulară pe consumatori fără șocuri.

— Verificarea comportării grupurilor din punct de vedere termomecanic, la aruncări de sarcină în condensație și termoficare.

— Verificarea modului de comportare a grupurilor în timpul unor regimuri dinamice (scurtcircuite în rețea), urmate sau nu de separarea de sistem, pe consumatori fără șocuri.

— Determinarea funcțiilor de transfer ale RAV și ale RAT și a parametrilor reali ai acestora.

**Caracteristicile grupurilor**

| | *Grupul de* 60 *MW* (după cartea mașinii) | *Grupul de* 100 *MW* (după buletinul de expediție) |
|---|---|---|
| Tipul | TVF-60—2 | TVF-100-2 |
| Puterea (S), MVA | 75 | 117,5 |
| cos φ | 0,8 | 0,85 |
| $X''d$ | 0,146 | 0,22±30 % |
| $X'd$ | 0,22 | 0,32±20 % |
| $Xd$ | 1,66 | 2,08±10 % |
| $X_2$ | 0,18 | 0,26±30 % |
| $X_0$ | 0,077 | 0,10±20 % |
| $T'd_0(s)$ | 6,0 | 5,9 ±20 % |
| $T''d_0(s)$ | 0,1 | 0,12 |
| $GD^2$ (pentru generator), tm² | 8,85 | 13,0 |

*) Măsurătorile pe partea electrică au fost făcute de ISPE, iar pe partea termică de IRME (colectiv : ing. Șt. Popovici). Probele au fost organizate de IEC Galați (ing. șef S. Șotri).

**) Gheorghe Crețu este inginer la ISPE — București.

## Probe de AAR ale serviciilor interne

Aceste probe s-au realizat prin deconectarea serviciilor interne ale grupului și reconectarea lor după pauze de 1,84, 2,7 și 3,88 s. Probele s-au făcut prin deconectarea și reconectarea celor două întreruptoare *a* și *b* (fig. 1) de pe

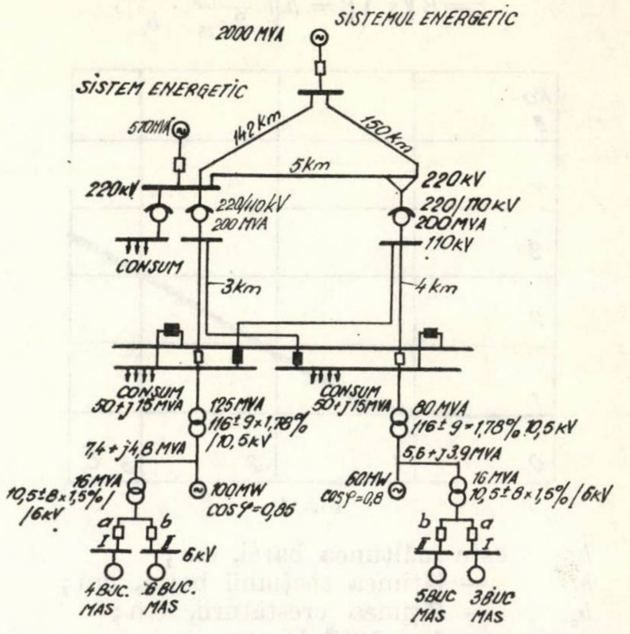



Fig. 1. Schema de racord la sistem a grupurilor de 60 și de 100 MW.

partea de 6 kV a transformatorului de 16 MVA 10,5/6 kV. Scopul acestor probe a fost verificarea bunei funcționări a automaticii în astfel de cazuri, a duratei procesului de autopornire, a șocurilor preluate în timpul autopornirii etc. În realitate, la dispariția tensiunii pe cele două secții de bare de 6 kV, ele sînt cuplate prin AAR la serviciile generale, alimentate printr-un transformator 25 MVA 110/6 kV, de la barele de 110 kV, după ce în prealabil este verificată și blocată poziția deschisă

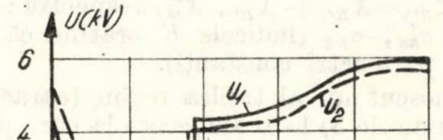



Fig. 2. Tensiunile pe cele două secții de bare de 6 kV în timpul probei de AAR de 3,88 s.

a celor două întreruptoare *a* și *b* de la barele de 6 kV.

Probele făcute în situațiile arătate mai sus sînt în orice caz mai grele decît dacă AAR s-ar fi făcut la serviciile generale, deoarece puterea

de scurtcircuit este mai mică în astfel de cazuri (120 MVA față de 200 MVA, cît este pe bara de 6 kV a serviciilor generale).

În figurile 2, 3, 4 și 5 se arată tensiunile reziduale pe barele de 6 kV, variația $I_{si}$, $P_{si}$ și $Q_{si}$ pe partea de 10,5 kV la grupul de 100 MW, variația turației *EPA* (electropompa de alimentare de 3 MW) în timpul AAR cu pauza de 3,88 s și variația tensiunii de excitație $U_n$ la grupul de 100 MW.

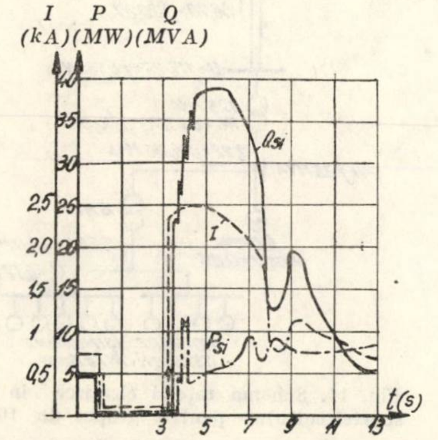



Fig. 3. Variația curentului, a puterii active și reactive pe trafo servicii interne, în timpul probei de AAR de 3,88 s.

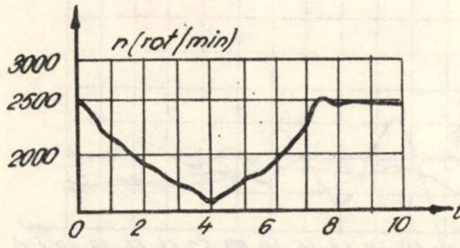



Fig. 4. Variația turației *EPA* în timpul AAR cu pauza de 3,88 s.

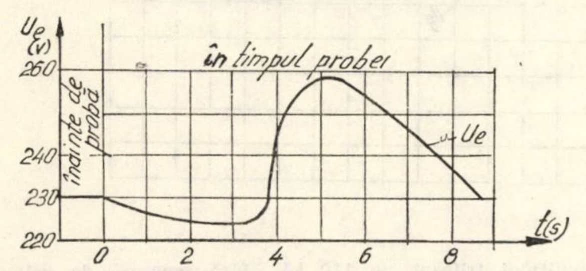



Fig. 5. Variația tensiunii de excitație în timpul AAR pe serviciile interne (paza 3,88 s).

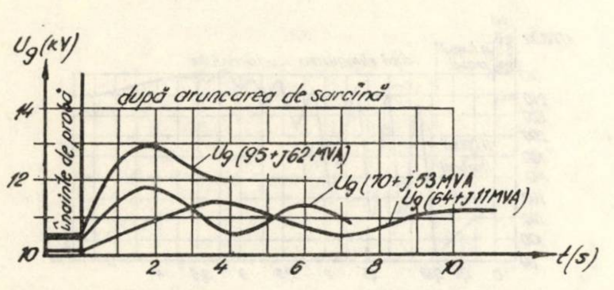



Fig. 6. Variația tensiunii la bornele generatorului în timpul probelor de aruncare a sarcinii.

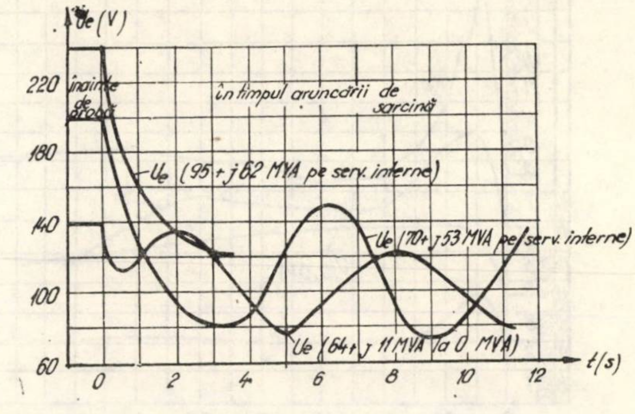



Fig. 7. Variația tensiunii de excitație în timpul aruncărilor de sarcină.

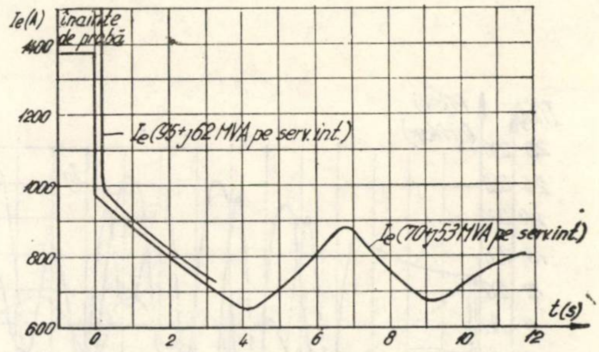



Fig. 8. Variația curentului de excitație în timpul aruncării de sarcină de la 70 MW și 95 MW pe servicii interne.

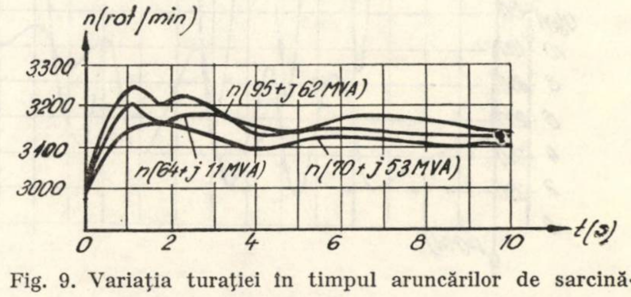



Fig. 9. Variația turației în timpul aruncărilor de sarcină.

## Probe de aruncări de sarcină

S-au făcut probe de aruncări de sarcină în condensație și termoficare, atît pentru grupul de 60 MW cît și pentru grupul de 100 MW.

La grupul de 60 MW s-au făcut următoarele probe :

— aruncarea de sarcină de la 30 MW pe zero (în condensație) ;

— aruncarea de sarcină de la 56 MW pe servicii interne (în condensație și termoficare).

La grupul de 100 MW s-au făcut următoarele probe :

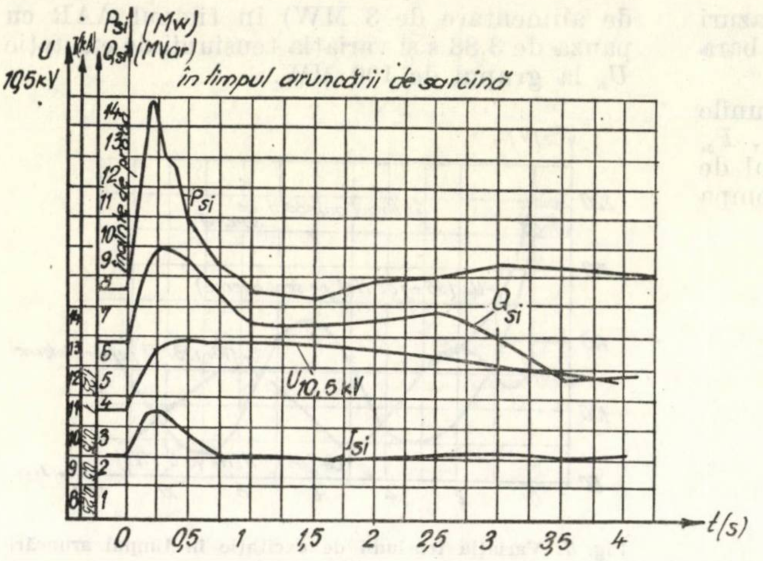



Fig. 10. Variaţia mărimilor pe trafo servicii interne în timpul aruncării sarcinii de la 95 MW pe servicii interne.

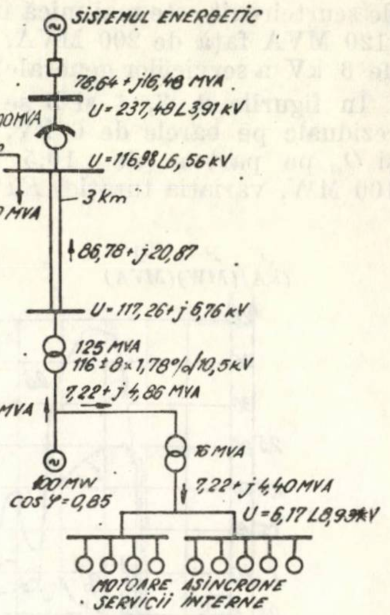



Fig. 11. Schema reţelei electrice în timpul scurtcircuitului pentru grupul de 100 MW.

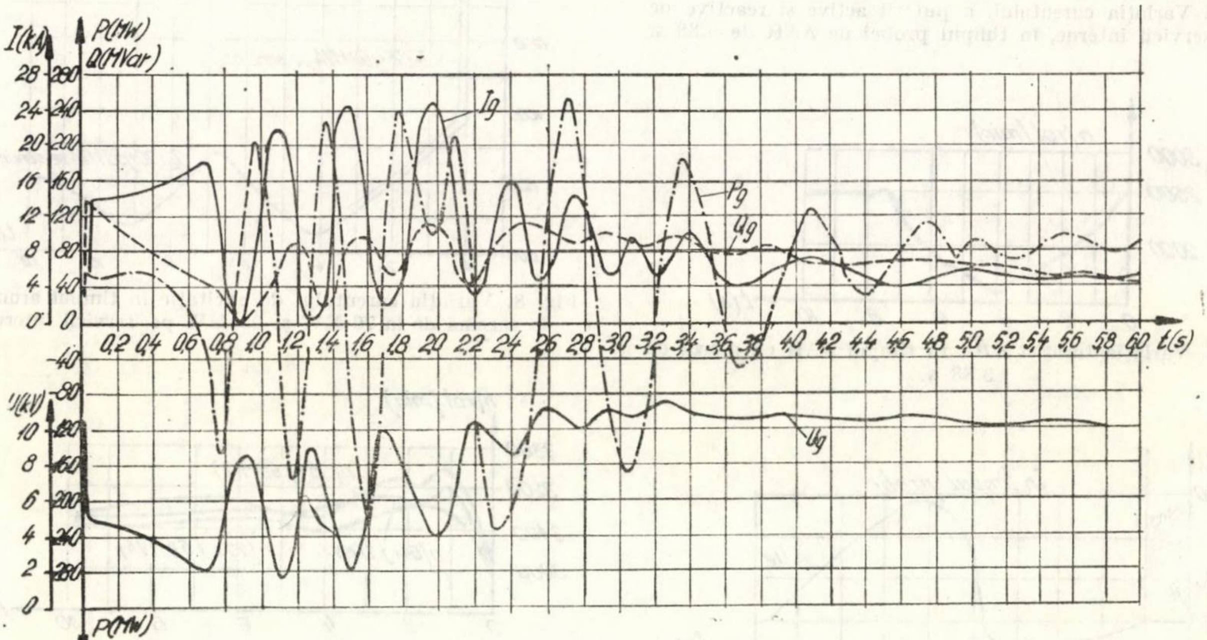



Fig. 12. Variaţia mărimilor pe grupul de 100 MW, în timpul scurtcircuitului trifazat pe 110 kV, fără separare de sistem. Rezultate experimentale.

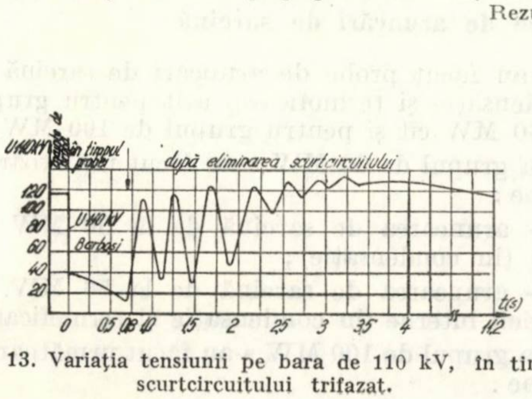



Fig. 13. Variaţia tensiunii pe bara de 110 kV, în timpul scurtcircuitului trifazat.

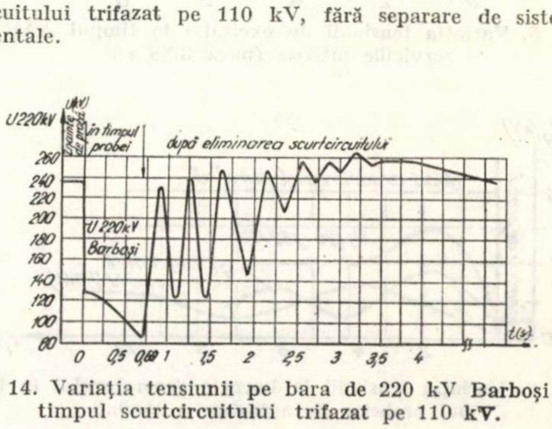



Fig. 14. Variaţia tensiunii pe bara de 220 kV Barboşi în timpul scurtcircuitului trifazat pe 110 kV.

— aruncarea de sarcină de la 64 MW pe zero (în condensaţie);

— aruncarea de sarcină de la 70 MW pe servicii interne, în condensaţie şi termoficare (1 00 Gcal/h);

— aruncarea de sarcină de la 95 MW pe servicii interne, în condensaţie şi termoficare (22 Gcal/h – sarcină normală);

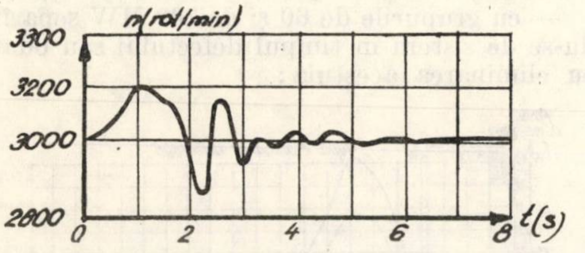



Fig. 15. Variaţia turaţiei grupului de 100 MW la scurtcircuit (fără separare de sistem). Înregistrare cu aparat cu viteză mărită.

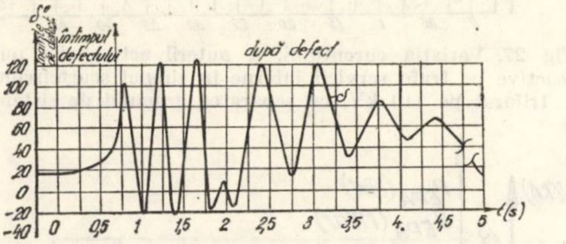



Fig. 16. Variaţia unghiului δ la generatorul de 100 MW în timpul probei de scurtcircuit trifazat.

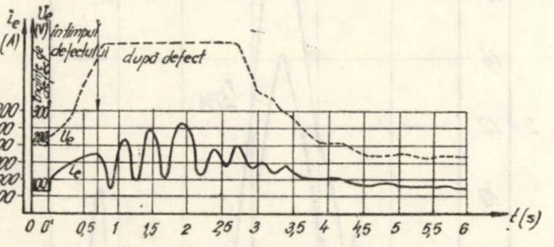



Fig. 17. Variaţia tensiunii şi a curentului de excitaţie al generatorului de 100 MW în timpul probei de scurtcircuit, fără separare de sistem.

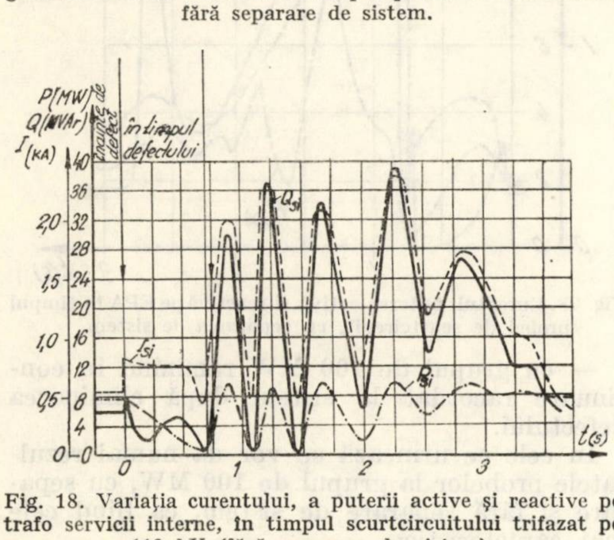



Fig. 18. Variaţia curentului, a puterii active şi reactive pe trafo servicii interne, în timpul scurtcircuitului trifazat pe 110 kV (fără separare de sistem).

— aruncarea de sarcină de la 100 MW pe servicii interne, în condensaţie şi termoficare (80 Gcal/h).

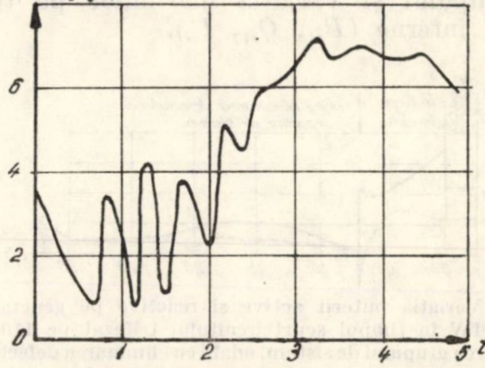



Fig. 19. Tensiunea pe bara de 6 kV în timpul probei de scurtcircuit (fără separare de sistem).

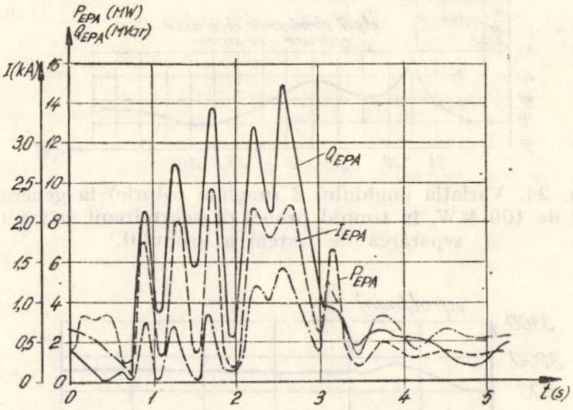



Fig. 20. Curentul, puterea activă şi reactivă pe EPA în timpul probei de scurtcircuit (fără separare de sistem).

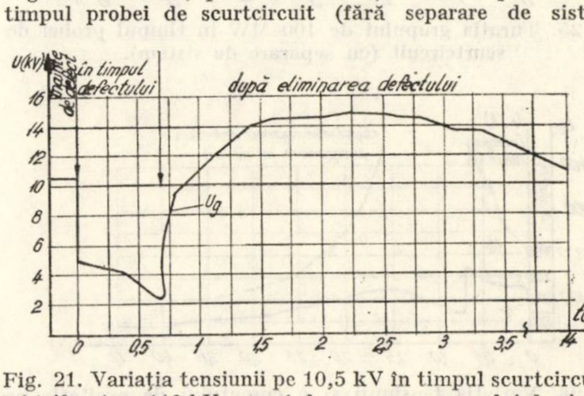



Fig. 21. Variaţia tensiunii pe 10,5 kV în timpul scurtcircuitului trifazat pe 110 kV, urmat de separarea grupului de sistem.

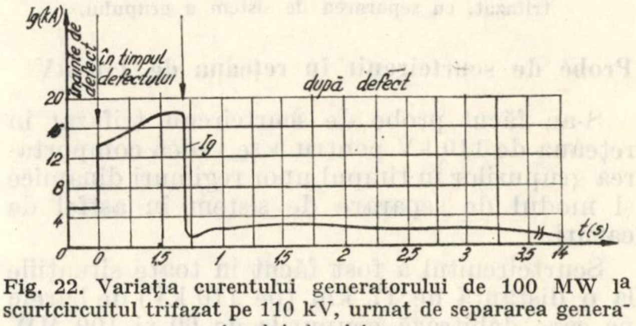



Fig. 22. Variaţia curentului generatorului de 100 MW la scurtcircuitul trifazat pe 110 kV, urmat de separarea generatorului de sistem.

În figurile 6, 7, 8, 9 şi 10 se arată pentru aruncările de sarcină ale grupului de 100 MW variaţiile tensiunii la bornele generatorului (pe 10,5 kV), variaţia $U_e$ şi $I_e$, variaţiile turaţiei grupului şi variaţia mărimilor pe trafo servicii interne ($P_{si}$, $Q_{si}$, $I_{si}$).

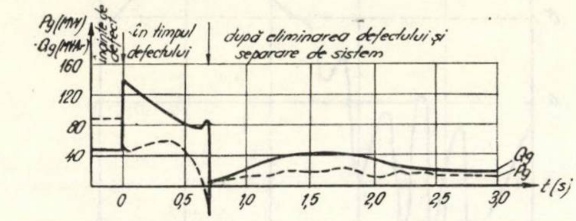



Fig. 23. Variaţia puterii active şi reactive pe generatorul de 100 MW în timpul scurtcircuitului trifazat pe 110 kV, cu separarea grupului de sistem, odată cu eliminarea defectului.

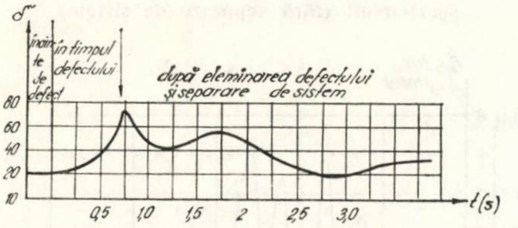



Fig. 24. Variaţia unghiului δ″(unghiul rotoric) la generatorul de 100 MW, în timpul probei de scurtcircuit trifazat şi separarea de sistem a grupului.

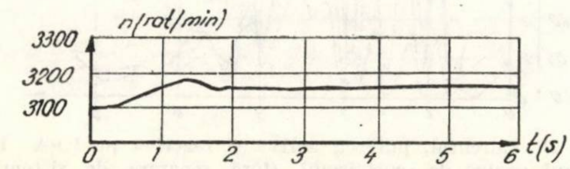



Fig. 25. Turaţia grupului de 100 MW în timpul probei de scurtcircuit (cu separare de sistem).

Fig. 26. Variaţia tensiunii şi a curentului de excitaţie pe generatorul grupului de 100 MW, în timpul scurtcircuitului trifazat, cu separarea de sistem a grupului.

## Probe de scurtcircuit în reţeaua de 110 kV

S-au făcut probe de scurtcircuit trifazat în reţeaua de 110 kV pentru a se vedea comportarea grupurilor în timpul unor regimuri dinamice şi modul de separare de sistem în astfel de cazuri.

Scurtcircuitul a fost făcut în toate situaţiile la o distanţă de 17 km (pe 110 kV) de barele pe care debitează grupurile de 60 şi 100 MW (fig. 11). Pentru a nu fi afectaţi consumatorii din zonă, probele au fost făcute în scheme speciale. Astfel, grupul de 60 MW a fost separat pe linia Barboşi — Bucureşti, iar grupul de 100 MW a fost separat pe linia 220 (400) kV Barboşi—Borzeşti, consumatorii mai importanţi din zonă fiind alimentaţi prin barele neafectate direct de defect.

Probele au fost făcute în două situaţii:

— cu grupurile de 60 şi de 100 MW separîndu-se de sistem în timpul defectului sau odată cu eliminarea acestuia;

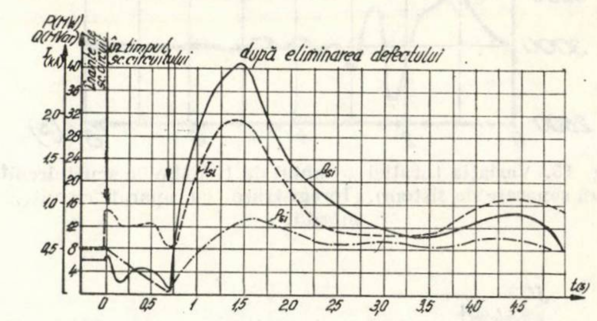



Fig. 27. Variaţia curentului, a puterii active şi a puterii reactive pe trafo servicii interne în timpul scurtcircuitului trifazat pe 110 kV, cu separarea grupului de sistem.

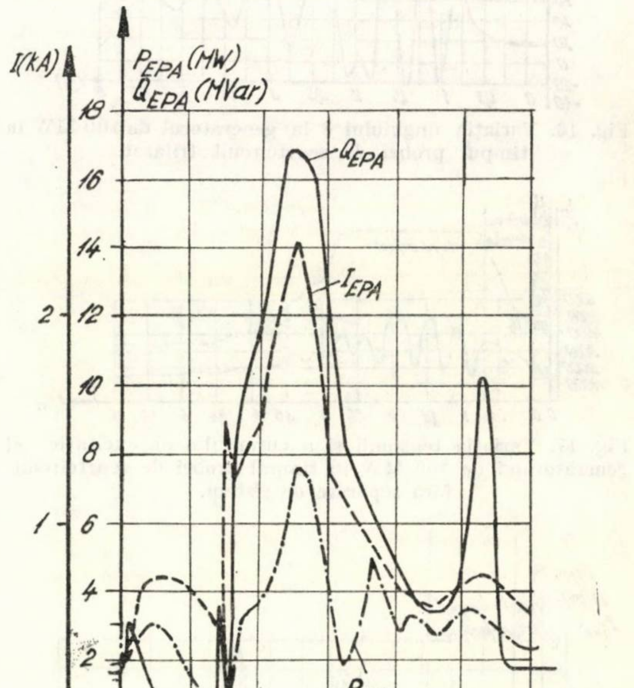



Fig. 28. Curentul, puterea activă şi reactivă pe EPA în timpul probei de scurtcircuit, cu separarea de sistem.

— cu grupul de 100 MW rămînînd în continuare racordat la sistem după eliminarea defectului.

În cele ce urmează se vor da numai rezultatele probelor la grupul de 100 MW, cu separare şi fără separare de sistem, ca fiind cele mai caracteristice.

*Scurtcircuit fără separarea grupului de sistem* (*fig. 11*)

Durata defectului a fost de 0,69 s. Tensiunile pe 10,5, 110 şi 220 kV, care scad în timpul defectului pînă la 2,2, 10 şi 85 kV, sînt arătate în figurile 12, 13 şi 14.

Curentul, puterea activă şi reactivă pe grup sînt reprezentate în figura 12. Variaţiile turaţiei şi ale unghiului rotoric dintre $E$ şi $U$ (bara de 10,5 kV) sînt arătate în figurile 15 şi 16, tensiunea de excitaţie ($U_e$) şi curentul de excitaţie ($I_e$) în figura 17, puterea activă şi reactivă şi curentul pe trafo servicii interne în figura 18, tensiunea pe bara de 6 kV (servicii interne) în figura 19, curentul, puterea activă şi reactivă pe electropompele de alimentare (*EPA*) de 3 MW, în figura 20.

Din datele prezentate trebuie să se reţină în special:

— oscilaţiile mari de tensiune, curent şi putere pe grup după eliminarea defectului;

— funcţionarea în regim asincron a grupului de 100 MW timp de 4 s (şase oscilaţii), după care grupul reintră în sincronism;

— rămînerea în funcţiune a serviciilor interne în timpul regimului dinamic;

— variaţiile mari de tensiune pe care trebuie să le suporte consumatorii în astfel de regimuri;

— grupul are un regulator de viteză cu un statism ridicat şi o constantă de timp foarte mică (0,8 s).

*Scurtcircuit trifazat cu separarea grupului de sistem*

Odată cu eliminarea defectului (0,69 s) se dă impuls de separare a grupului de sistemul energetic, acesta rămînînd în funcţionare insulară.

Tensiunea pe 10,5 kV este indicată în figura 21, curentul, puterea activă şi reactivă pe grupul de 100 MW în figurile 22 şi 23, unghiul rotoric ($\delta$) în figura 24, turaţia în figura 25, tensiunea de excitaţie ($U_e$) şi curentul de excitaţie ($I_e$) în figura 26, curentul, puterea activă şi reactivă pe trafo servicii interne în figura 27, iar curentul, puterea activă şi reactivă pe electropompa de alimentare (*EPA*) de 3 MW în figura 28.

Din datele prezentate trebuie să se reţină:

— în situaţia separării grupului de sistem, în timpul unui defect apropiat electric, nu se mai observă variaţii de tensiune şi oscilaţii mari de putere de grup;

— după eliminarea defectului, tensiunea creşte timp de 3—4 s cu 30—40%, din cauza forţării excitaţiei.

**Consideraţii referitoare la probele efectuate**

— La probele de AAR se remarcă că durata autopornirii este mult mai mică (3—4 s) faţă de durata pornirii (7—8 s). De asemenea, şocurile de putere din timpul autopornirii sînt mai mici decît acelea absorbite în timpul pornirii.

AAR pe serviciile interne este reuşit chiar la pauze mai mari (3,88 s) faţă de timpul la care este reglată protecţia în realitate (2,5 s). Cu cît durata pauzei de AAR este mai mare, cu atît este mai mare şi durata procesului de autopornire. (La pauza de 1,84 s, durata procesului de autopornire este de circa 2,7 s, iar la pauza de 3,88 s, durata procesului de autopornire este de 4 s.)

— La aruncările de sarcină în condensaţie şi termoficare, grupul s-a comportat bine atît pe partea termomecanică cît şi pe partea electrică. Variaţiile turaţiei grupului în timpul aruncărilor de sarcină sînt între 6 şi 8%, tensiunea pe barele de 10,5 kV creşte de la 10,5 kV pînă la 13 kV.

Timpii de deschidere şi de închidere a vanei de admisie sînt de 0,5, respectiv 0,2 s.

Puterile pe serviciile interne cresc imediat după aruncarea de sarcină şi apoi revin (după 1 s) la valori cu puţin mai mari decît valorile anterioare (din cauza creşterii tensiunii).

— Din probele de scurtcircuit rezultă că în cazul unor defecte apropiate (care conduc la variaţii de tensiune pe bara grupului sub 0,4 $U_n$) ce nu sînt deconectate de protecţia lor de bază (de exemplu protecţia de distanţă în treapta I, 0,2 s), este indicat ca grupul să se separe de sistem la 0,5 s.

Rămînerea în paralel cu sistemul este mai dezavantajoasă, deoarece:

— se produc variaţii mari de tensiune, care aduc prejudicii consumatorilor;

— grupul este supus unor eforturi mecanice şi electrice deosebite;

— este posibilă căderea grupului în cazul unor defecte mai grele şi de o durată mai lungă.

S-a propus ca separarea de sistem a grupurilor de 60 şi de 100 MW să se facă în cazul unor perturbaţii care s-ar produce în sistem şi care nu sînt eliminate de protecţia lor de bază, pentru a se asigura în continuare alimentarea consumatorilor cu energie electrică. Instalaţiile de separare sînt pe bază de tensiune şi frecvenţă.

Astfel, cînd tensiunea $U \leqslant 0{,}4\ U_n$, $t = 0{,}5$ s, iar cînd $U \leqslant 0{,}7\ U_n$, $t = 1{,}5$ s.

Separarea trebuie să se facă numai la defecte în sistem, deci cînd curentul care circulă spre sistem are anumite valori (trebuie să fie direcţională). Dacă separarea s-ar face şi în cazul unor defecte interioare, grupul ar cădea în astfel de cazuri, ieşind din sincronism.

De asemenea, în cazul în care grupurile de 60 şi de 100 MW ce funcţionează în paralel cu consumatorii cu şocuri (laminoare), pentru a nu rămîne în funcţionare insulară cu aceşti consumatori, este necesară, odată cu separa-

rea, şi deconectarea consumatorilor cu şocuri printr-un dispozitiv de frecvenţă. Astfel, cînd frecvenţa scade sub 48,5 Hz sau este mai mare de 51,5 Hz, aceşti consumatori trebuie să fie deconectaţi (deoarece grupurile nu suportă variaţii de frecvenţă repetate).

Dispozitivul de frecvenţă este un contur care înregistrează două-trei variaţii de frecvenţă într-un interval de 15—20 s.

— La aceste probe s-au dedus şi comportarea RAV şi RAT (regulator automat de viteză şi regulator automat de tensiune), funcţiile de transfer ale acestora, precum şi parametrii lor. Rezultatele sînt prezentate într-un articol separat, apărut în „Energetica'', nr. 2, 1972.

*In concluzie*, se poate arăta că în timpul pauzei de AAR a serviciilor interne (chiar de 3–4 s), grupurile rămîn în funcţiune.

De asemenea, aruncările de sarcină de pe grupuri, fie pe sarcina serviciilor interne, fie pe sarcina zero, conduc la variaţia diverşilor parametri în limite admisibile.

În timpul diferitelor perturbaţii din sistem care conduc la variaţii de tensiune pe bara grupului sub 0,4 $U_n$, şi care nu sînt separate de protecţia de bază ($t = 0,2$ s) este de preferat ca grupurile să fie separate de sistem, fiindcă rămînerea în continuare în paralel cu sistemul duce la pendulaţii importante, la variaţii de tensiune dăunătoare consumatorilor şi la eforturi mecanice şi electrice mari ale grupurilor din centrală.

**(Articol intrat în redacţie la 14 iulie 1971)**

# Relaţii de calcul pentru optimizarea coordonării izolaţiei

Ing. D. Mark*)

Pentru optimizarea pe baze statistice a coordonării izolaţiei, este necesar să se cunoască caracteristicile fizico-tehnice ale izolaţiei, costurile de investiţie, de exploatare şi reparaţie, precum şi cota de amortizare a echipamentului respectiv şi pagubele cauzate economiei naţionale prin nelivrarea energiei electrice la diverşi consumatori.

Rezultă că optimizarea coordonării izolaţiei poate fi exprimată prin formula general folosită pentru calcule tehnico-economice la determinarea eficienţei economice a unei investiţii date, cu luarea în considerare a pagubelor cauzate de avarii.

Exprimînd sub formă matematică cheltuielile de calcul şi aplicînd calculul statistic-matematic în vederea găsirii optimului expresiei, se ajunge la o coordonare a izolaţiei care să corespundă condiţiilor de siguranţă şi economicitate impuse.

Un studiu de optimizare pe o reţea mai întinsă, care să cuprindă un număr mare de staţii, consumatori de diverse categorii, relief şi condiţii climatice diferite, în condiţiile actuale, în care lipsesc date statistice, nu pare posibil.

Găsirea soluţiei optime pentru o porţiune de reţea poate fi rezolvată dacă se introduc cu atenţie parametrii culeşi pe baza experienţei de exploatare din zona respectivă.

## 1. Principii de optimizare a coordonării izolaţiei

Principiul de optimizare a coordonării izolaţiei se bazează pe asigurarea cheltuielilor minime de calcul ($Z_{minim}$) incluzînd, pe lîngă cheltuielile de investiţii şi de exploatare, şi pierderile economiei naţionale datorate conturnării izolaţiei la tensiunea de serviciu şi la supratensiuni.

Calculul acestor cheltuieli minime se realizează prin aplicarea formulei:

$$Z = \sum_i [(p + p_{ai}) I_i + C_i] + \sum_q D_q, \qquad (1)$$

în care

$Z$ sînt cheltuielile de calcul, lei/an;
$I_i$ — investiţiile pentru construirea elementului $i$, lei;
$C_i$ — cheltuielile de exploatare şi reparaţii pentru elementul $i$ (lei/an) (amortizările sînt calculate separat prin termenul $p_{ai} I_i$);
$D_q$ — daunele de genul $q$, lei/an;
$p$ — coeficientul de eficacitate normat, ani$^{-1}$;
$p_{ai}$ — raţia amortizării elementului $i$, ani$^{-1}$.

În $\sum_i$ intră toate elementele unui sistem dat: linii aeriene, transformatoare, descărcătoare, reactoare etc.

În $\sum_q$ intră pierderile de diferite tipuri datorate întreruperilor prin conturnarea izolaţiei liniilor, străpungerea izolaţiei transformatorului, avarierea aparatelor de protecţie sau comutaţie.

Toate mărimile sus-menţionate depind de un număr mare de factori cu caracter statistic. Deci şi $Z$ este o mărime aleatorie ce poate fi caracterizată prin funcţia ei de distribuţie. În acest caz, probabilitatea matematică a cheltuielilor de calcul va avea expresia:

$$\overline{Z} = \sum_i [(p + \overline{p}_{ai}) I_i + \overline{C}_i] + \sum_q \overline{D}_q, \qquad (2)$$

unde termenii baraţi reprezintă speranţa matematică a mărimilor respective.

*) Dănilă Mark este inginer principal I la ISPE.

Nu trebuie să se neglijeze faptul că fiecare termen din formulă poate să depindă şi de factori neprobabilistici, ca : parametrii care determină caracteristicile izolaţiei liniei şi echipamentului de protecţie etc.

Pentru determinarea cheltuielilor de amortizare, exploatare şi reparaţii capitale se foloseşte metoda dobînzii compuse. În evaluarea acestor cheltuieli, termenii cu caracter statistico-probabilistic care pot apărea sînt :

— funcţia şi densitatea de repartiţie a timpului aleatoriu de funcţionare;

— cheltuielile pentru reparaţiile de avarie sau reparaţiile curente;

— perioada de înlocuire a elementelor şi altele.

În calculul daunelor aduse sistemului şi consumatorului de energie electrică trebuie să se ţină seamă de probabilitatea conturnării izolaţiei.

## 2. Expresia probabilistică a coordonării izolaţiei în regim normal de funcţionare

În regim normal de funcţionare pot apărea conturnări în cazul izolaţiei contaminate sau umezite de ploaie sau ceaţă, la intervalele de izolare în aer în cazul înclinării nefavorabile a conductorului sub acţiunea vîntului. În concordanţă cu aceste ipoteze, speranţa matematică a numărului de conturnări ale izolaţiei în regim normal ($N_{cn}$) este :

$$N_{cn} = \lambda u \int_0^\infty \psi_{cnu}(i_u) f_u(i_u)\,\mathrm{d}i_u + \lambda_v \int_0^\infty \psi_{cnv}(v) f_v(v)\,\mathrm{d}v, \qquad (3)$$

în care

$\lambda_u$ şi $\lambda_v$ sînt intensitatea fluxului umidităţii şi a vîntului;

$\psi_{cnu}(i_u)$ — probabilitatea conturnării izolaţiei reţelei la tensiunea de serviciu $U$ şi intensitatea umidităţii $i_u$;

$\psi_{cnv}(v)$ — probabilitatea conturnării intervalelor de izolare în aer între conductor şi stîlp la tensiunea de serviciu $U_n$ şi componenta transversală pe linie a vitezei vîntului;

$f_u(i_u), f_v(v)$ — densitatea probabilităţii intensităţii umidităţii şi a componentei transversale a vitezei vîntului.

Ţinînd seama că izolaţia reţelei are un număr mare de elemente $m$ care se pot umezi, probabilitatea $\psi_{cnu}$ poate fi determinată cu formula :

$$\psi_{cnu}(i_u) = 1 - \prod_{k=1}^{m} [1 - \psi_{cnku}(i_u)], \qquad (4)$$

unde $\psi_{cnku}(i_u)$ este probabilitatea conturnării izolaţiei elementului izolant $k$ la tensiunea de serviciu, $U_n$, şi intensitatea umidităţii $i_u$.

La calculul probabilităţii de conturnare $\psi_{cnv}(v)$ trebuie să se ţină seamă şi de numărul mare de intervale în aer, de neuniformitatea presiunii vîntului pe conductor şi de numărul probabil de deschideri ale liniei cu aceeaşi intensitate a vîntului.

Probabilitatea conturnării izolaţiei la supratensiuni, în principiu, se determină tot cu formula (3), ţinîndu-se seama, pe de o parte, de durata scurtă a acţiunii şi, pe de altă parte, de creşterea tensiunii, în special în perioada pauzei de RAR la linii cu bobine de reactanţă-şunt pe partea de înaltă tensiune, în faza incipientă de dezvoltare a reţelei.

## 3. Expresia probabilistică a coordonării izolaţiei ţinînd seama de supratensiuni

### 3.1. *Supratensiuni atmosferice*

Speranţa matematică a numărului iniţial de conturnări legate de supratensiunile atmosferice ($\overline{M}_{ca}$), în primă aproximaţie, se determină prin legile cunoscute de repartiţie a sistemului de mărimi aleatorii $I_0$ şi $a$ (amplitudinea şi panta curentului de trăsnet) şi a punctului de lovire a trăsnetului în conductorul de protecţie. Formula este :

$$\overline{M}_{ca} = N \cdot \psi_a \Big\{ (1 - \psi_\alpha) \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^l \psi_c [U^{cp}(i_0, a, x)] \cdot f_{(x)}^{cp}(x) \cdot f(i_0, a)\,\mathrm{d}i_0 \cdot \mathrm{d}a \cdot \mathrm{d}x + \psi_\alpha \int_0^\infty \int_0^\infty \psi_{ca} [U^{ca}(i_0, a)] \cdot f(i_0, a)\,\mathrm{d}i_0\,\mathrm{d}a \Big\} \qquad (5)$$

în care s-a notat :

$\psi_\alpha$ — probabilitatea trecerii loviturii de trăsnet prin protecţia conductorului de protecţie pe conductorul activ;

$\psi_c$ — probabilitatea conturnării lanţului de izolatoare a intervalului dintre conductorul de protecţie şi conductorul activ în deschidere. Această probabilitate se calculează cu formula analogă cu (4);

$U^{cp}(i_0, a, x)$ — amplitudinea supratensiunii pe izolaţie la lovitura de trăsnet în conductorul de protecţie, avînd parametrii $i_0$, $a$, la distanţa $x$ de cel mai apropiat stîlp;

$U^{ca}(i_0, a)$ — idem, la lovitura de trăsnet în conductorul activ;

$f(i_0, a)$ — densitatea de distribuţie a sistemului de parametri aleatorii ai trăsnetului;

$f_x^{cp}(x)$ — densitatea de distribuţie a punctelor $x$ de cădere a loviturilor de trăsnet în deschidere pe conductorul de protecţie;
$l$ — lungimea deschiderii;
$a$ — probabilitatea medie de transformare a arcului de impuls în scurtcircuit;
$N = n_{sp} \cdot \frac{t_0}{100} \cdot \frac{l_1}{20}$ — numărul mediu de lovituri de trăsnet în linie într-un an, în care:
$t_0$ este numărul de zile oragioase pe an;
$l_1$ — lungimea liniei;
$n_{sp}$ — număr specific de conturnări în linie pe 100 km şi 20 zile de furtună (oragioase).

### 3.2. *Supratensiuni de comutaţie*

La determinarea probabilităţii de conturnare a izolaţiei la supratensiuni de comutaţie, este necesar să se aibă în vedere că o supratensiune de acest tip cuprinde un număr de elemente ale reţelei avînd amplitudini diferite pe diverse elemente.

Probabilitatea conturnării izolaţiei la o comutaţie de tip $r$ ($\psi_{c\,com}\ \gamma$) poate fi determinată cu ajutorul legii de distribuţie a sistemului de factori aleatorii care determină modul de desfăşurare a procesului tranzitoriu în cazul comutaţiei, pe baza formulei:

$$\psi_{c\,com\,r} = 1 - \int_{\alpha_1} \ldots \int_{\alpha_m} \prod_s \{1 - \psi_{c\,com\,x}\,[U_{ms}(\alpha_1 \ldots \ldots \alpha_m)]\} f(\alpha_1 \ldots \alpha_m) \mathrm{d}\alpha_1 \ldots \mathrm{d}\alpha_m, \tag{6}$$

unde $\psi_{c\,com\,m}$ este probabilitatea conturnării izolaţiei elementului la realizarea dată, $\alpha_1 \cdots$, $\alpha_m$ a factorilor aleatorii care determină desfăşurarea procesului tranzitoriu la comutaţia de tipul $r$, iar $f(\alpha_1 \ldots \alpha_m)$ — legea de distribuţie a sistemului de factori aleatorii.

La anclanşarea planificată a liniei, factorii aleatorii sînt momentele închiderii fazelor întreruptoarelor şi tensiunea în oricare punct al liniei $U_{m\gamma}$.

La declanşarea de avarie a liniei printr-un întreruptor care nu dă reaprinderi periculoase ale arcului, factorii aleatorii sînt: reactanţa şi t.e.m. echivalentă a sursei în regim tranzitoriu, unghiul între tensiunile electromotoare, tipul şi locul scurtcircuitului, ordinea de funcţionare a întreruptoarelor.

În cazul RAR este necesar să se ţină seamă şi de condiţiile aleatorii de scurgere a sarcinilor în pauza de RAR şi de asemenea de momentul anclanşării.

## Concluzii

Pentru aplicarea metodei trebuie să existe o serie de date statistice iniţiale. Pînă în prezent s-au putut obţine numai o serie de date, cum ar fi cele privind caracteristicile izolaţiei la anumite forme de impulsuri, caracteristicile tehnice ale descărcătoarelor şi altele. Lipsesc sau nu sînt semnificative datele caracterizînd statistic pagubele, date privind influenţa parametrilor asupra costului acestora etc.

Introducerea în evidenţa statistică a sistemului energetic a acestor date va permite calcularea, la început numai pentru linii, iar mai tîrziu — pe măsura strîngerii datelor statistice pe o perioadă mai lungă — şi pentru porţiuni de reţea, a soluţiei optime de alegere a izolaţiei.

Formulele stabilite permit şi punerea problemei sub forma inversă, şi anume: care este nivelul optim de izolaţie ce trebuie ales pentru o linie dată pentru ca pagubele datorate întreruperilor să nu depăşească o valoare dată?

Sub această formă, cunoscînd traseul liniei şi folosind harta keraunică, programul de optimizare poate fi aplicat de pe acum.

Sigur că optimizarea coordonării izolaţiei liniilor de înaltă tensiune se poate face şi pe elemente cum ar fi optimizarea alegerii nivelului de izolaţie la supratensiuni atmosferice sau la supratensiuni interne etc.

**Bibliografie**


[1] M a r k, D. *Coordonarea nivelurilor de izolaţie în reţelele electrice de înaltă tensiune.* IDT, Bucureşti, 1964.

[2] D r ă g a n, G. *Asupra studierii unor fenomene de tehnica tensiunilor înalte cu ajutorul teoriei probabilităţilor şi al matematicii statistice.* Comunicare la consfătuirea ştiinţifică ,,Supratensiuni şi protecţia instalaţiilor electrice contra supratensiunilor''. Sinaia, 8—10 noiembrie 1968.

[3] N e c̆ ş u l e s c u, D. şi P o p o v i c i, N. *Utilizarea calculatoarelor la stabilirea numărului specific de declanşări ale LEA de înaltă tensiune.* În: Construcţii şi montaje energetice, nr. 9, 1971.

[4] M a r k, D. *Aspecte statistice şi tehnico-economice în alegerea izolaţiei liniilor electrice aeriene de foarte înaltă tensiune.* În: Studii şi cercetări de energetică şi electrotehnică, 4, tom 19, 1969.

[5] A r t e m i e v, D.E., T i h o d e e v, N.N. şi Ş u r, S.S. *Koordinaţiia izolaţii linii elektroperedacii.* Izd. Energhia, Moscova, 1966.

[6] C a s s o n, W. *Troisiéme rapport sur le comportement en exploitation des lignes de tension superieure a 225 kV.* CIGRE 1964, Rap. 420.


**(Articol intrat în redacţie la 22 octombrie 1971)**

# Sisteme de menţinere a vidului în condensatoarele turbinelor

Ing. M. Slăvescu şi ing. G. Cocarazna*)

## Generalităţi

Pentru menţinerea vidului în condensatoarele turbinelor cu abur se utilizează în mod curent următoarele mijloace principale:
— ejector cu abur;
— ejector cu apă;
— pompă;
— combinaţie ejector—pompă.

Pentru alegerea variantei optime, în funcţie de parametrii şi de condiţiile specifice de funcţionare a grupului, trebuie luate în considerare toate soluţiile, alegînd-o pe aceea care permite un consum minim de energie şi ţinînd seamă şi de preţul de cost, siguranţa în exploatare etc.

Pentru început se stabilesc, în funcţie de caracteristicile grupului, parametrii agentului aspirat şi ai agentului de lucru.

## Stabilirea parametrilor agentului aspirat

Se consideră:
— presiunea agentului aspirat egală cu presiunea din condensator, at;
— temperatura agentului aspirat egală cu temperatura de saturaţie, corespunzătoare presiunii din condensator, °C.

Agentul aspirat se compune din aerul pătruns prin neetanşeităţi ale părţilor turbinei aflate sub depresiune şi din aburul antrenat. În calcule, caracteristicile termodinamice ale gazelor necondensabile se consideră egale cu cele ale aerului.

Pentru determinarea debitului de agent aspirat se calculează mai întîi debitul probabil de gaze necondensabile şi, în funcţie de acesta, debitul de abur antrenat, suma lor reprezentînd chiar debitul total al agentului aspirat (debitul de calcul). În literatura de specialitate, datele referitoare la calculul acestor debite diferă de la un autor la altul. Astfel, Schröder recomandă, pe baze statistice, alegerea debitului de necondensabile în funcţie de debitul de abur care intră în condensator. Pentru execuţii îngrijite rezultă, de exemplu, la un condensator de 500 t/h, un debit maxim de 15 kg/h de necondensabile [1]. Schwift apreciază volumul de aer infiltrat la presiunea şi temperatura din condensator în limitele 0,03—0,06 m³/min[2].

S-a încercat stabilirea unor relaţii semiempirice pentru determinarea debitului de necondensabile din condensator. Astfel, după Thees:

$$G_{nec} = 0{,}07656\ \Delta p \cdot V\ \text{[kg/h]}, \qquad (1)$$

*) Ing. Mihnea Slăvescu este şef de sector la ICPET; Gabriela Cocarazna este inginer la ICPET.

în care

$\Delta p$ este viteza de creştere a presiunii în condensator, mbar/min;
$V$ — volumul condensatorului, m³.

Pentru $\Delta p$, Berman propune relaţia:

$$\Delta p \leqslant K \frac{\delta}{S}\left(\frac{D}{100}+1\right), \qquad (2)$$

în care

$K$ este factor care ţine seama de calitatea etanşării şi ia valorile 25, 50, 90, după cum etanşarea este foarte bună, bună sau mediocră;
$\delta$ — încărcarea specifică reală cu abur a suprafeţei condensatorului, kg abur/m². h;
$S$ — suprafaţa de schimb de căldură a condensatorului, m².
$D$ — debitul de abur care intră în condensator, t/h.

Se recomandă ca presiunea în condensator să nu crească cu mai mult de 13,33 mbar în primele 10 minute de la obturarea ermetică a aspiraţiei ejectorului [2].

Schröder recomandă stabilirea debitului de abur aspirat odată cu necondensabilele din condensator, în funcţie de subrăcirea aburului în zona de extracţie şi de presiunea din condensator.

Vlădea [2] recomandă, pentru acelaşi debit de abur antrenat, $G_{ab}$, valoarea:

$$G_{ab} = (6 \div 8)\ G_{nec}. \qquad (3)$$

Debitul de amestec aspirat (necondensabile + abur), pentru care se face calculul, va fi:

$$G_{am} = G_{ab} + G_{nec}. \qquad (4)$$

Mijloacele de menţinere a vidului în condensator trebuie să asigure o presiune finală superioară presiunii atmosferice atît pentru evacuarea necondensabilelor cît şi, atunci cînd este cazul, pentru învingerea rezistenţelor la trecerea agentului comprimat prin răcitoarele intermediare sau finale.

## Sistemul de menţinere a vidului folosind ejectoare cu abur ca agent de lucru

În cazul concret al ejectoarelor cu abur pentru menţinerea vidului în condensator, gradul de compresie care trebuie realizat fiind mare, se impune divizarea compresiei totale în mai multe trepte.

Pentru instalaţiile de condensare cu o presiune de proiectare mai mică de 25,4 mm Hg se recomandă folosirea ejectoarelor în trei trepte [3]. Acestea sînt frecvent utilizate la presiuni în jur de 13 mm Hg, avînd o capacitate mai mare la presiuni absolute mai scă-

zute. În [4] se prezintă soluţiile constructive pentru o serie de ejectoare aflate în funcţiune sau pe bancul de încercări în U.R.S.S.

Un consum minim de energie al instalaţiei de ejecţie este legat de alegerea optimă a pre-

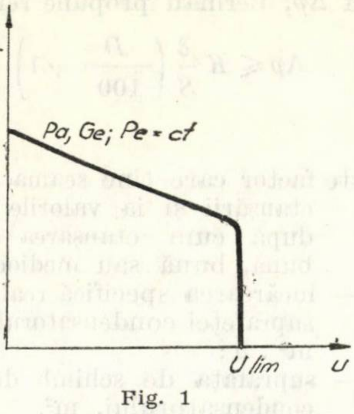



Fig. 1

siunii aburului de lucru şi de realizarea unui coeficient de ejecţie maxim (respectiv un consum minim de abur de lucru) [5]. Este de subliniat că alegerea parametrilor aburului de lucru este dependentă de caracteristicile turbinei. Toate treptele ejectorului se calculează identic, urmărindu-se realizarea pentru fiecare a unui coeficient maxim de ejecţie pentru un raport de compresie dat. În general, la ejectorul în mai multe trepte rapoartele de compresie pe trepte sînt egale.

Forma caracteristicii unui ejector cu abur este prezentată în figura 1.

Caracteristica prezintă o porţiune verticală corespunzătoare unui anumit coeficient de ejecţie, numit coeficient de ejecţie-limită. Această porţiune a caracteristicii arată că o scădere în continuare a presiunii de compresie realizate de ejector nu se traduce printr-o mărire a coeficientului de ejecţie. Această valoare-limită este valoarea maximă a coeficientului de ejecţie. Calculele de proiectare se fac pentru acest regim de funcţionare, determinat de atingerea stării critice de către agentul aspirat sau comprimat într-una din secţiunile camerei de amestec.

Stabilirea analitică a coeficientului de ejecţie-limită este însă destul de dificilă şi se face apel în repetate rînduri la anumite date, care se obţin experimental [5]. Astfel:

— la calculul coeficientului de ejecţie-limită este necesară stabilirea secţiunii în care are loc atingerea vitezei critice de către jetul aspirat sau comprimat în camera de amestec, precum şi legea de deplasare a acestei secţiuni la variaţii de regim;

— stabilirea repartiţiei optime a compresiei în camera de amestec între porţiunea cilindrică şi confuzor;

— stabilirea liniei contrapresiunilor reale, care se face tot experimental, considerînd lucrul întregii instalaţii de ejecţie.

Pentru calculul aproximativ se consideră regimul-limită determinat de atingerea vitezei sunetului de către jetul comprimat la sfîrşitul camerei de amestec. Valorile calculate se situează sub cele obţinute experimental, dar aceasta constituie o rezervă de calcul. Date fiind impedimentele care apar în cazul unui calcul teoretic, se recomandă un calcul grafic după [6], calcul care se bazează pe un număr deosebit de mare de încercări experimentale. Pentru a utiliza metoda grafică propusă, se echivalează debitul dat de amestecul abur-necondensabile care trebuie evacuat, într-un debit echivalent de aer uscat, după relaţia lui L.D. Berman

$$G_{nec} = (0{,}8\ \varepsilon + 0{,}2\ \varepsilon^2)\ G_{aer}^{ech}, \tag{5}$$

în care, în afara notaţiilor folosite anterior, apar

$\varepsilon$ — participaţia gravimetrică a necondensabilelor în amestecul aspirat:

$$\varepsilon = \frac{G_{nec}}{G_{am}}; \tag{6}$$

$G_{aer}^{ech}$ — debitul de aer echivalent debitului dat de amestecul abur-necondensabile, kg/h.

Odată stabilit coeficientul de ejecţie pentru o variantă, se poate calcula consumul de abur de lucru.

Pentru recuperarea căldurii aburului folosit, se utilizează răcitoare de suprafaţă intermediare şi finale. În răcitorul final se impune o condensare totală a cantităţii de abur, aerul evacuat fiind considerat saturat.

Agentul de răcire utilizat este condensatul principal. Pentru un precalcul se neglijează pierderile de presiune în răcitoare şi pe conducte. Se presupune că ele sînt compensate prin rezervele adoptate pentru presiunile de calcul.

Consumul de putere al ejectorului cu abur se calculează cu relaţia:

$$N_{ef\,cons} = \frac{Q_{cons} - Q_{rec}}{860\ \eta_m\ \eta_g}\ [\mathrm{kW}], \tag{7}$$

în care

$Q_{cons}$ este aportul de putere pe care l-ar aduce debitul de abur de lucru consumat printr-o destindere de la priza respectivă, pînă la presiunea din condensator, kcal/h;

$Q_{rec}$ — puterea obţinută prin destinderea în continuare a aburului care nu mai este consumat în circuitul regenerativ pentru încălzirea condensatului principal, încălzire făcută corespunzător prin condensarea în răcitoare a aburului de lucru şi aspirat, kcal/h. (Dacă ejectorul este alimentat de la priza de ieşire din corpul IP evitînd supraîncălzirea, acest fapt trebuie prins în $Q_{cons}$ şi $Q_{rec}$);

$\eta_m$ — randamentul mecanic al corpului de turbină considerat;
$\eta_g$ — randamentul generatorului.

Pentru calculul consumului de putere se utilizează schema termică a grupului.

**Sistemul de menţinere a vidului în condensator folosind ejectorul cu apă**

Variantele posibile în acest caz sînt determinate de parametrii apei de lucru, presiune şi temperatură. Numărul de variante este dictat de condiţiile concrete de funcţionare a grupului, prin posibilităţile de amplasare a prizei de apă, pe conducta de aducţiune sau refulare din circuitul de răcire al condensatorului.

Puterea consumată de ejector se determină cu relaţia cunoscută:

$$N_{cons} = \frac{V_e \cdot p_e}{102 \cdot \eta_p} \text{ [kW]}, \qquad (8)$$

în care

$V_e$ este volumul de apă de lucru utilizat, în $m^3/s$ ($V_e$ este determinat prin coeficientul de ejecţie realizat de ejector);
$p_e$ — presiunea apei de lucru înaintea ajutajului de lucru al ejectorului, kgf/cm;
$\eta_p$ — randamentul pompei.

Micşorarea puterii consumate de ejector se poate realiza prin efectuarea unui calcul care să optimizeze dependenţa între presiunea şi debitul de lucru. De asemenea, se poate lua în considerare şi optimizarea temperaturii agentului de lucru. Aceste mărimi trebuie însă corelate cu posibilităţile grupului. Trebuie remarcat faptul că un calcul riguros al ejectorului cu apă (de stabilire a coeficientului de ejecţie sau a caracteristicii sale de funcţionare) nu s-a pus la punct, dat fiind şi faptul că acest tip de ejector funcţionează cu mediu trifazic

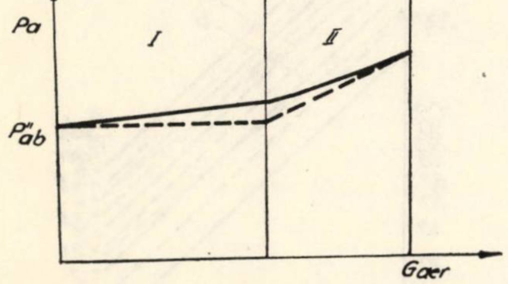



Fig. 2

(apă şi amestec abur plus necondensabile). Prin condensarea aburului din amestecul aspirat în jetul de apă se uşurează funcţionarea acestui aparat. În [6] se propune o metodă de calcul care se bazează pe echivalarea caracteristicii ejectorului real cu o caracteristică de ejector bifazic, apă şi aer uscat. În figura 2 este arătată o asemenea caracteristică.

Deoarece pentru apă nu se pune problema depăşirii vitezei sunetului, funcţionarea ejectorului cu apă nu comportă cele două regimuri de funcţionare întîlnite la ejectoarele cu abur (sub limită şi limită).

În concluzie, se pot considera capacitatea şi presiunea de aspiraţie de calcul ($U_{calcul}$ şi $p_{a\,calcul}$) pe zona înclinată a caracteristicii, obţinîndu-se astfel o valoare minimă de calcul pentru aer uscat. Scăderea valorii de calcul pentru aer uscat $V_a$ şi, corespunzător, a consumului de energie, reprezintă un avantaj pentru ejectorul cu apă. Calculul variantelor alese, respectiv al coeficientului de ejecţie, ţinînd seamă de aproximarea de mai sus, se face după metoda recomandată de Sokolov [5].

Trebuie remarcat faptul că ejectorul cu apă se realizează obişnuit într-o singură treaptă; el se conectează în cele mai multe cazuri în circuit deschis, astfel că aburul extras odată cu necondensabilele din condensator se elimină şi constituie o pierdere pentru circuit.

Pentru instalaţiile mari, se lucrează uneori în circuit închis, folosindu-se drept fluid de lucru condensatul principal răcit în prealabil.

**Sistemul de realizare a vidului în condensator cu ajutorul pompelor**

Cele mai utilizate pompe pentru instalaţiile moderne sînt pompele volumetrice cu inel sau jet de apă, datorită faptului că etanşarea şi ungerea lor se fac cu lichid (cel mai frecvent condensatul principal sau apă din circuitul de răcire al condensatorului). Pompele cele mai frecvent utilizate sînt cele de tip Elmo şi Leblanc. Avantajele acestor pompe sînt multiple. Ele oferă o exploatare sigură şi practic fără opriri, datorită următoarele cauze:

— singurul element în mişcare este rotorul, care lucrează fără a avea contact cu alte părţi metalice;

— este antrenată electric;

— nu necesită ulei pentru ungere şi etanşare;

— realizează o compresie aproape izotermă datorită fenomenului de condensare, care are loc în procesul de comprimare a amestecului abur şi aer;

— asigură, tocmai datorită fenomenului de condensare, o capacitate volumetrică crescută;

— se poate conecta în circuit închis în cazul în care lichidul de funcţionare se procură greu;

— este robustă şi suportă şocuri termice;

— nu necesită o amplasare pretenţioasă.

În figura 3 este reprezentată o pompă Elmo.

De remarcat că pompele Elmo asigură un randament volumetric mai mare, într-o singură treaptă, avînd o funcţionare silenţioasă;

ele prezintă însă unele dezavantaje, deoarece, ca şi la ejectorul cu apă, se simte puternic influenţa temperaturii apei de lucru asupra capacităţii de aspiraţie. Aceasta atrage după sine necesitatea prevederii unor răcitoare pen-

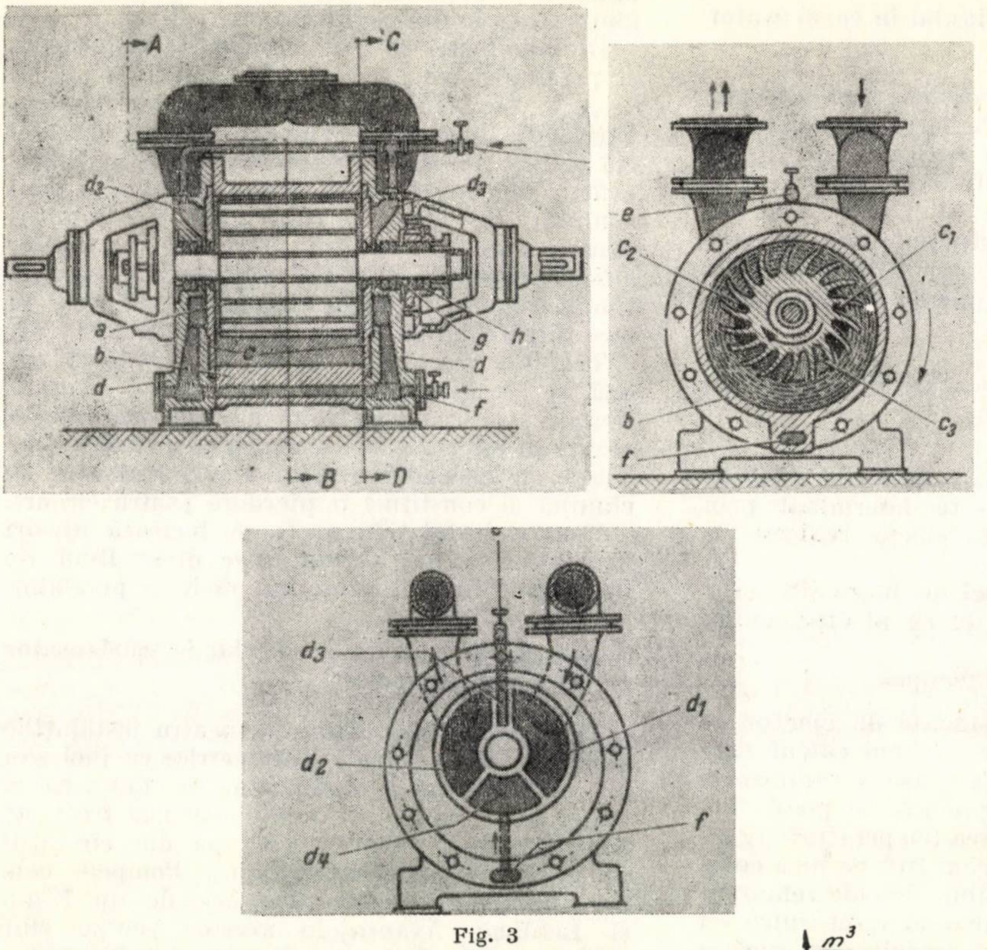


Fig. 3

tru menţinerea cît mai constantă a temperaturii inelului de lichid.

Aburul din amestecul aspirat din condensator se condensează şi este greu recuperabil.

Alegerea pompelor se face în funcţie de presiunea şi capacitatea de aspiraţie pe care trebuie să le asigure [7].

Capacitatea de aspiraţie a pompei se calculează cu relaţia:

$$S_{am} = G_{aer} \cdot \frac{S_{am}}{G_{aer}}, \tag{9}$$

în care

$$\frac{S_{am}}{G_{aer}} = \frac{R_{aer}\ T_{am}}{133{,}41\ p_a}\left(1 + \frac{R_{ab}}{R_{aer}} \cdot \frac{G_{ab}}{G_{aer}}\right) \tag{10}$$

$S_{am}$ este capacitatea de aspiraţie pentru amestecul dat, abur-aer, necesară la o turaţie $n$, $m^3/h$;

$G_{aer}$ — debitul de aer extras, kg/h;

$G_{ab}$ — debitul de abur extras, kg/h;

$R_{aer}$, $R_{ab}$ — constante pentru gazele perfecte, respectiv aer şi abur, J/kg.°K;

$T_{am}$ — temperatura amestecului abur-aer, °K;

$p_a$ — presiunea de aspiraţie, torr.

Raportul $\frac{S_{am}}{G_{aer}}$ se calculează direct din diagrama redată în figura 4, funcţie de presiunea de aspiraţie şi multiplul $m$, dat de relaţia:

$$m = \frac{G_{ab}}{G_{aer}} \tag{11}$$

Deoarece caracteristicile pompei sînt date în catalog pentru o temperatură a lichidului de funcţionare de 15°C, se procedează la corectarea capacităţii de aspiraţie în cazul unei alte temperaturi a lichidului, după cum este indicat în figura 5.

### Utilizarea sistemului de ejecţie folosind combinaţia ejector-pompă

După cum s-a arătat capacitatea de aspiraţie a pompei este diminuată de prezenţa aburului în amestecul aspirat, precum şi de temperatura relativ ridicată a apei de lucru. Pentru a limita aceste dezavantaje se pot conec-

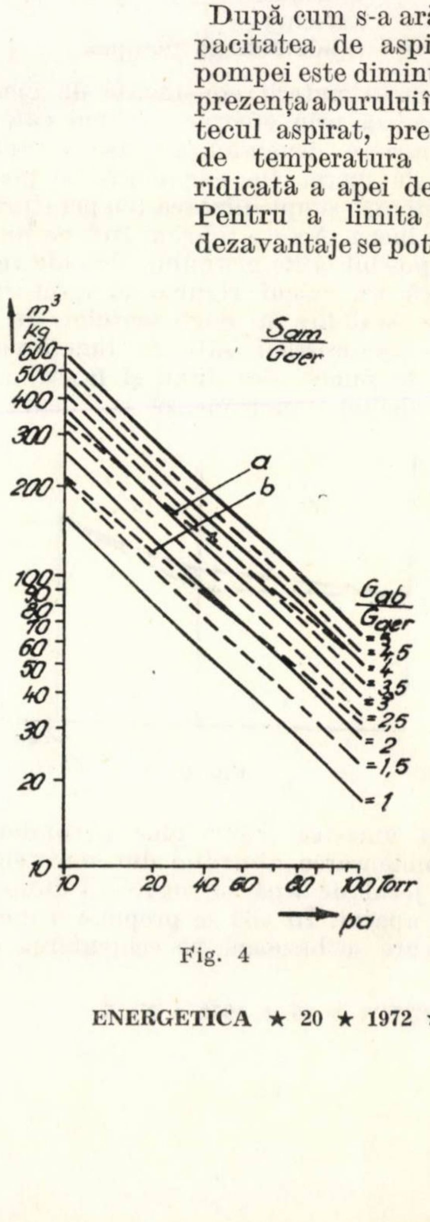


Fig. 4

ta în serie, în amonte, un ejector cu abur şi un răcitor intermediar cu condensat principal.

Prin condensarea aburului de lucru şi a aburului din amestecul aspirat în răcitorul intermediar se elimină dezavantajul nerecuperării aburului antrenat, dezavantaj ce apare în cazul utilizării doar a unei pompe.

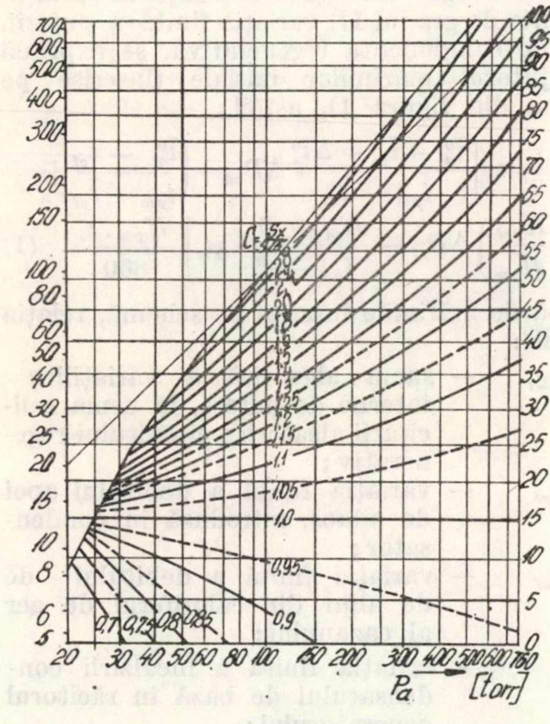



Fig. 5

Aburul se recuperează atît cantitativ cît şi calitativ, deoarece căldura sa este cedată condensatului principal. În această schemă, temperatura apei de lucru pentru pompă nu mai este supusă unor condiţii la fel de riguroase ca în cazul unei singure pompe, datorită creşterii presiunii la aspiraţia acesteia.

Pentru grupurile de termoficare, sistemul de menţinere a vidului în condensator cu ejector cu abur este competitiv cu sistemul cu pompă, după cum rezultă din calculele tehnico-economice efectuate. Pentru sistemul combinat, consumul de putere este diminuat, datorită în principal faptului că pompa, ca etaj final, este dimensionată la o capacitate de aspiraţie mai mică şi o presiune de aspiraţie mai mare. Există multiple posibilităţi de conectare a ejectorului pe partea de abur de lucru. O soluţie deosebit de avantajoasă este aceea care foloseşte ca abur de lucru aburul cu o presiune de 1,5—2 at de la labirinţii turbinei.

Folosirea acestui abur are avantajul că, practic, nu influenţează puterea turbinei, deoarece energia de presiune a acesui abur nu era folosită. În cel mai bun caz, acest abur era condus în circuitul regenerativ, unde ceda căldura, ceea ce se poate realiza şi în cazul utilizării lui în schema propusă.

## Concluzii

Analiza prezentată a diverselor sisteme posibile, privind realizarea mijloacelor de menţinere a vidului în condensatoarele turbinelor, arată că este absolut necesară efectuarea unor calcule tehnico-economice în funcţie de caracteristicile grupului. Totuşi, faţă de avantajele pe care le prezintă pentru exploatare, autorii propun soluţia de combinaţie ejector cu abur + pompă, care asigură şi posibilitatea creării unei rezerve în cazul aprecierii necorespunzătoare a parametrilor agentului aspirat, la proiectarea instalaţiei. Principiile de alegere a sistemului optim de ejecţie rezultate mai sus au fost utilizate pentru un grup de 150 MW, rezultatele concrete obţinute demonstrînd ca fiind cea mai economică soluţie.

Faţă de celelalte sisteme de menţinere a vidului, soluţia preconizată (ejector cu abur + pompă) asigură o reducere cu cel puţin 25% a cheltuielilor iniţiale. Soluţia prevede folosirea unui ejector cu abur ca treaptă înaintaşă a instalaţiei, care foloseşte abur de 2 ata de la labirinţii turbinei, cuplat cu o pompă fie de fabricaţie Siemens, fie românească (tip MIL 1000).

### Bibliografie


[1] Schröder, K. *Centrale termoelectrice de mare putere.* Vol. 26, Springer Verlag, 1968.

[2] Vlădea, I. *Instalaţii şi utilaje termice.* Editura tehnică, Bucureşti, 1966.

[3] Ellingen, W.E. *Condenser Air-Removal Equipment.* Power engineering, noiembrie 1960, p. 75—77.

[4] Sklover, G.G., Rosinski, A.Z. şi Gherasimov, A.V. *Bezrazmernie harakteristiki parostruinîh ejektorov.* K.T.Z. Teploenerghetika, nr. 3, 1966, p. 42—49.

[5] Sokolov, E.I. şi Zingher, N.M. *Struinie aparatî.* Gosudarstvennoe energheticeskoe izdatelstvo, Moskva-Leningrad, 1970.

[6] Berman, L.D. şi Zingher, N.M. *Stravnenie raznîh tipov vozduşnîh nasosov dlea kondensatorov turbin.* Teploenerghetika, nr. 11, 1958, p. 46—55.

[7] Mugele, K.W. şi Salm, P.L.R. *Entluften von Kondensatoren mit Elmo-Wasserringpumpen und deren Kombination mit Strahlapparaten.* Siemens Zeitschrift, 1967.


**(Articol intrat în redacţie la 13 decembrie 1971)**

# Particularităţi ale schemelor termice în care funcţionează blocuri de mare putere

Ing. Vl. Nicu*)

Blocurile moderne de mare putere prezintă unele particularităţi în ceea ce priveşte modul de concepere a schemei circuitului termic în care sînt incluse. Datorită acestor particularităţi, bilanţul termic al circuitului conţine componente a căror influenţă asupra consumului de căldură al turbinei poate avea caracter aleatoriu.

Pentru exemplificare, în figura 1 se arată schema simplificată (cu circuit regenerativ echivalent) a unui bloc de 200 MW cu supraîncălzire intermediară.

În schema din figura 1 se remarcă caloriferul *C*, pentru preîncălzirea aerului înainte de intrarea sa în preîncălzitorul de aer regenerativ. Rolul includerii în schemă a caloriferului este acela de a preîntîmpina formarea punctului de rouă la funcţionarea pe păcură cu conţinut bogat în sulf şi vanadiu. Se remarcă, de asemenea, injecţia directă *I* a adaosului de apă în condensator, realizîndu-se astfel o primă treaptă de degazare a ei. Schema termică mai conţine răcitorul *R* al statorului generatorului, care poate fi considerat un preîncălzitor suplimentar pentru condensatul de bază.

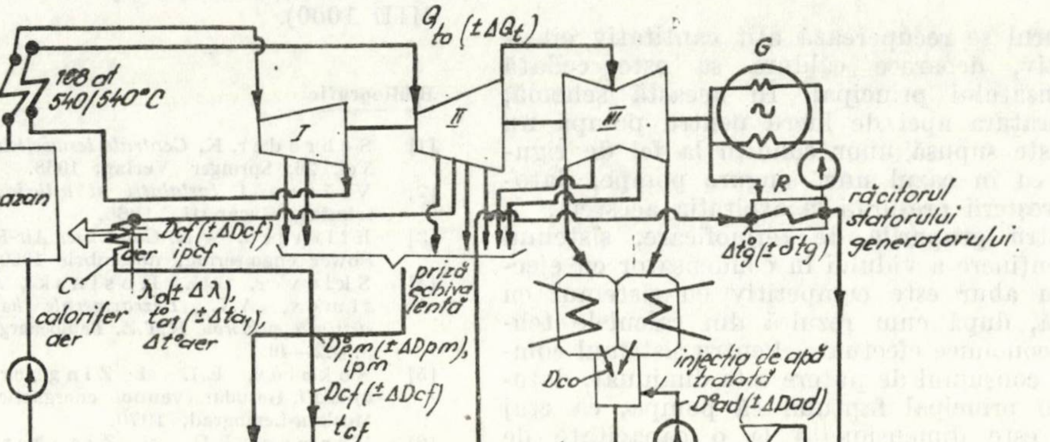



**Fig. 1.** Schema termică de principiu a unui bloc de 200 MW, tip Skoda, cu supraîncălzire intermediară, instalat la CET Brazi.

Admiţînd că puterea la bornele generatorului este constantă, cele trei elemente (*C*,*I*,*R*) ale schemei termice, în condiţii reale de exploatare a blocului, pot solicita aleatoriu circuitul regenerativ al turbinei, provocînd variaţii interne de putere (datorite circuitului regenerativ), compensate de componenta puterii în condensaţie pură (datorată debitului de abur intrat în condensator).

Prin diferenţierea bilanţului termic, asociat circuitului regenerativ şi prin neglijarea variaţiilor finite de gradul II, variaţia finită a puterii, dată de componenta regenerativă, se exprimă cu ajutorul mărimilor iniţiale (înscrise pe schema din figura 1), astfel:

$$\Delta P_{\Sigma r} \approx \left[\frac{\bar{t}^0_{al} - \bar{t}_{co} - \Delta \bar{t}^0_g}{i_{pm} - \bar{t}^0_{al}} \Delta D_{ad} + \left(\frac{\bar{t}^0_{al} - \bar{t}_{cf}}{i_{pm} - \bar{t}_{cf}} + \frac{H_{pcf}}{H_{pm}}\right) \Delta D_{cf} - \frac{D^0_{ad} + D_{co}}{i_{pm} - \bar{t}^0_{al}} \overline{\delta} t_g\right] \frac{H_{pm} \cdot \eta}{860} \quad (1)$$

Faţă de mărimile înscrise pe schemă, relaţia conţine:

$\Delta P_{\Sigma r}$ — suma algebrică a variaţiilor interne de putere, în urma solicitării aleatorii a circuitului regenerativ;

$\Delta D_{ad}$ — variaţia finită a debitului apei de adaos, introdusă în condensator;

$\Delta D_{cf}$ — variaţia finită a debitului de de abur din caloriferul de aer al cazanului;

$\overline{\delta} t_g$ — variaţia finită a încălzirii condensatului de bază în răcitorul generatorului;

$\frac{H_{pcf}}{H_{pm}}$ — raportul dintre căderile utile în turbină, asociate variaţiilor $\Delta D_{cf}$ şi $\Delta D_{pm}$;

*) Vladimir Nicu este şeful serviciului concepţie din IEC Ploieşti.

$\eta$ — produsul dintre randamentul mecanic al turbinei şi randamentul generatorului.

Se face precizarea că, în deducţiile ce vor urma, pierderile de apă-abur pe centrală se consideră concentrate la cazane şi că nu există eventuale efecte care ar conduce la micşorarea solicitării circuitului regenerativ, ca urmare a recuperării de abur secundar (prin expandarea purjei cazanului în colectorul degazoarelor).

După cum se poate observa, termenii relaţiei (1), afectaţi de $\Delta D_{ad}$ şi $\Delta D_{cf}$, solicită pozitiv circuitul regenerativ, iar termenul afectat de $\delta t_g$ solicită negativ. În realitate, variaţiile $\Delta D_{ad}$, $\Delta D_{cf}$ şi $\delta t_g$ pot fi pozitive sau negative, semnul fiecăreia depinzînd de variaţia aleatorie (în anumite limite) a mărimii respective.

Se consideră că sînt necesare unele precizări referitoare la influenţa variaţiilor mărimilor sus-amintite asupra componentelor puterii interne a turbinei, deoarece aceste variaţii se transmit circuitului regenerativ echivalent, independent de variaţia parametrilor de bază (ultimii nefiind obiectul prezentelor consideraţii).

Variaţia finită a debitului de apă de adaos, $\Delta D_{ad}$, depinde de variaţia pierderilor de apă-abur din centrală, în ultimă instanţă de etanşeitatea circuitului termic.

În ceea ce priveşte variaţia finită a debitului de abur din caloriferul de aer, $\Delta D_{cf}$, este de remarcat faptul că, prin intermediul acestuia, se transmit circuitului regenerativ variaţiile unor parametri din circuitul de combustie al cazanului, deoarece există relaţia (exprimată în condiţiile simplificatoare adoptate în calculul creşterilor finite):

$$\Delta D_{cf} \approx \frac{L_0 \cdot C_{am}}{i_{pcf} - t_{cf}} [(B_0 \cdot \Delta\lambda + \lambda_0 \cdot \Delta B)\, \Delta t^0_{aer} + \lambda_0 \cdot B_0 \cdot \Delta t_{a1}] = f(\Delta\lambda, \Delta B, \Delta t_{a1}), \quad (2)$$

în care

$L_0$ este volumul de aer teoretic, necesar arderii unui kilogram de combustibil (în cazul de faţă păcură);

$C_{am}$ căldura specifică medie a aerului, în intervalul de preîncălzire;

$B_0$ — consumul orar de combustibil în condiţii iniţiale (de referinţă);

$\Delta\lambda$ — variaţia finită a excesului de aer;

$\lambda_0$ — excesul de aer, în condiţii iniţiale;

$\Delta B$ — variaţia finită a consumului de combustibil;

$\Delta t^0_{aer}$ — preîncălzirea aerului, în condiţii iniţiale;

$t_{a1}$ — variaţia finită a temperaturii aerului la intrarea în calorifer.

Relaţia (2) este valabilă cu condiţia menţinerii constante a temperaturii aerului preîncălzit ($t_{a2}$), lucru, de altfel, aplicat la cazanele cu debit mare şi parametri înalţi, prin automatizarea debitului de abur din calorifer, în funcţie de acest parametru. Caracterul aleatoriu al variaţiei lui $\Delta D_{cf}$ este dat de variaţia parametrilor $B$, $\lambda$ şi $t_{a1}$. Astfel, variaţiile excesului de aer, $\lambda$, pot deveni importante atunci cînd se strică etanşeitatea preîncălzitoarelor de aer regenerative, faţă de fluxul de gaze de ardere. De asemenea, variaţia temperaturii aerului la intrarea în calorifer, $t_{a1}$, depinde de condiţiile climatice întîmplătoare.

Componenţa variaţiei finite a puterii, datorată încălzirii condensatului principal în răcitorul generatorului, depinde de variaţia aleatorie a puterii reactive, debitate de generator (la o sarcină activă constantă), fiind practic proporţională cu această variaţie. Se poate scrie relaţia:

$$\delta t_g = k \frac{\partial P_{cu}}{\partial P_r} \Delta P_r = k' \frac{P_r}{U^2} \Delta P_r,$$

în care

$k$ şi $k'$ sînt constante de proporţionalitate;

$\frac{\partial P_{cu}}{\partial P_r}$ — derivata pierderilor în înfăşurarea statorică a generatorului, în raport cu puterea reactivă debitată;

$\Delta P_r$ — variaţia finită a puterii reactive debitate de generator;

$U$ — tensiunea la bornele generatorului.

Consecinţele solicitării aleatorii a circuitului regenerativ al turbinei se traduc prin variaţii corespunzătoare ale consumului de căldură, faţă de consumul considerat în condiţii de referinţă (la proiectarea funcţionării blocului, într-o schemă termică adoptată). În cazul în care nu se îndeplineşte condiţia simultană

$$\Delta D_{ad} = \Delta D_{cf} = \delta t_v = 0, \quad (2')$$

consumul de căldură al turbinei este, în orice moment, definit de relaţia:

$$Q_t = Q_{t0} + \frac{\partial Q_t}{\partial D_{ad}} \Delta D_{ad} + \frac{\partial Q_t}{\partial D_{cf}} \Delta D_{cf} + \frac{\partial Q_t}{\partial t_g} \delta t_v, \quad (3)$$

în care $\frac{\partial Q_t}{\partial D_{ad}}$, $\frac{\partial Q_t}{\partial D_{cf}}$ şi $\frac{\partial Q_t}{\partial t_g}$ sînt derivate pozitive sau negative ale consumului de căldură, $Q_t$, al turbinei în raport cu $D_{ad}$, $D_{cf}$ şi $t_g$.

Admiţînd că sînt, practic, constante în intervalul variaţiilor finite, $\Delta D_{ad}$, $\Delta D_{cf}$ şi $\delta t_g$, aceste derivate se determină, în cazul general, din sistemul de ecuaţii:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q_t}{\partial D_{ad}} \Delta D_{ad} + \frac{\partial Q_t}{\partial D_{cf}} \Delta D_{cf} + \frac{\partial Q_t}{\partial t_v} \delta t_g &= Q_t - Q_{t0} \\ \frac{\partial Q_t}{\partial D_{ad}} \Delta D'_{ad} + \frac{\partial Q_t}{\partial D_{cf}} \Delta D'_{cf} + \frac{\partial Q_t}{\partial t_g} \delta t'_g &= Q'_t - Q_{t0} \\ \frac{\partial Q_t}{\partial D_{ad}} \Delta D''_{ad} + \frac{\partial Q_t}{\partial D_{cf}} \Delta D''_{cf} + \frac{\partial Q_t}{\partial t_g} \delta t''_g &= Q''_t - Q_{t0} \end{aligned} \quad (4)$$

fiecare ecuaţie din sistemul (4) avînd variaţii finite pentru $D_{ad}$, $D_{cf}$, $t_g$ şi consumuri de căldură $Q_t$ diferite. Consumurile de căldură se deduc cu relaţia:

$$Q_t = q_{Em} \cdot P, \quad (P = P_0 = \text{const.}), \tag{5}$$

iar consumul specific mediu cu relaţia:

$$q_{Em} = q_{CE} - \alpha_r \, (q_{CE} - q_{TE}), \tag{6}$$

în care

$q_{CE}$ este consumul specific în condensaţie pură (fără a ţine seama de circuitul regenerativ);

$\alpha_r$ — raportul dintre componenta puterii datorită circuitului regenerativ şi puterea totală ($P_0$) a grupului;

$q_{TE}$ — consumul specific aferent producerii componentei de putere datorită circuitului regenerativ.

Astfel, cînd apar variaţii finite ale mărimilor $D_{ad}$, $D_{cf}$ şi $t_g$, cu ajutorul relaţiei (1) se calculează $\Delta P_{\Sigma r}$. Cunoscîndu-se din condiţiile iniţiale (de referinţă) $\alpha_{r0}$, pentru acesta din urmă se obţine o nouă valoare:

$$\alpha_r = \alpha_{r0} \pm \frac{\Delta P_{\Sigma r}}{P_0}.$$

Cu ajutorul relaţiei (6) (considerînd $q_{CE} \approx$ $\approx$ const.) se calculează noile consumuri specifice:

$$q_{Em} = q_{CE} - \left(\alpha_{r0} \pm \frac{\Delta P_{\Sigma r}}{P_0}\right)(q_{CE} - q_{TE}).$$

Se subliniază faptul că, neîndeplinindu-se condiţia (2'), dar îndeplinindu-se condiţia

$$\Delta P_{\Sigma r} = 0,$$

situaţie posibilă prin anularea reciprocă a termenilor relaţiei (1), consumul de căldură al turbinei $Q_t$ capătă o altă valoare faţă de consumul de referinţă, deoarece apare o variaţie a randamentului ciclului termic. În acest caz, rigurozitatea calculelor ar pretinde determinarea noului consum specific în condensaţie după unul dintre procedeele cunoscute de calcul al circuitului termic.

**Exemplu de calcul**

Pentru un bloc de mare putere, se cunosc în condiţii iniţiale (de referinţă) următoarele mărimi:

$P_0 = 200$ MW
$q^0_{Em} = 2060$ kcal/kWh
$\alpha_{r0} = 0{,}3$
$q_{CE} = 2560$ kcal/kWh; $q_{TE} = 885$ kcal/kWh
$t^0_{a1} = 255°C$
$t_{c0} = 31°C$
$D_{c0} = 420$ t/h
$i_{pcf} = 675$ kcal/kg
$i_{pm} = 700$ kcal/kg
$H_{pm} = 115{,}5$ kcal/kg (se ţine seama de supraîncălzirea intermediară)
$H_{pcf} = 140{,}5$ kcal/kg (se ţine seama de supraîncălzirea intermediară)
$\eta = 0{,}995 \,.\, 0{,}985 = 0{,}98$
$B_0 = 41\,800$ kg/h (păcură)
$t^0_{a1} = 20°C$
$D^0_{ad} = 13$ t/h
$D^0_{cf} = 26{,}5$ t/h
$\Delta^0_{tg} = 4°C$
$L_0 = 14$ m$^3$N/kg
$\Delta t^0_{aer} = 70°C$
$C_{am} = 0{,}31$ kcal/m$^3$N·°C.

Mărimile care au perturbat funcţionarea circuitului regenerativ echivalent sînt afectate de următoarele variaţii finite:

$$\Delta D_{ad} = D_{ad} - D^0_{ad} = 20 - 13 = 7 \text{ t/h}$$
$$\delta t_g = \Delta t_g - \Delta t^0_g = 4 - 6 = -2°C$$
$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = 1{,}3 - 1{,}15 = 0{,}15$$
$$\Delta B = B - B_0 = 42\,736 - 41\,800 = 936 \text{ kcal/h}$$
$$\Delta t_{a1} = t_{a1} - t^0_{a1} = 5 - 20 = -15°C$$

Cu ajutorul relaţiei (2) se calculează variaţia finită a debitului de abur din caloriferul de aer:

$$\Delta D_{cf} = \frac{14 \cdot 0{,}31 \cdot 10^{-3}}{675-120} [(41\,800 \cdot 0{,}15 + 1{,}15 \cdot 936)\, 70 + + 1{,}15 \cdot 41\,800 \cdot 15] \approx 9{,}75 \text{ t/h},$$

rezultat care ţine seama de faptul că micşorarea temperaturii aerului din mediul ambiant reclamă creşterea debitului de abur încălzitor.

Se calculează variaţia finită a puterii datorate circuitului regenerativ:

$$\Delta P_{\Sigma r} = \left[\frac{255-31-4}{700-255} \cdot 7 + \left(\frac{255-120}{700-255} + \frac{140{,}5}{115{,}5}\right) 9{,}75 - - \frac{13+420}{700-255} \cdot 2\right] \frac{155{,}5 \cdot 0{,}98}{860} \approx 2{,}08 \text{ MW}$$

Consumul de căldură al turbinei devine:

$$Q_t = \left[q_{CE} - \left(\alpha_{r0} + \frac{\Delta P_{\Sigma r}}{P_0}\right)(q_{CE} - q_{TE})\right] \cdot P_0 = = \left[2\,560 - \left(0{,}3 + \frac{2{,}08}{200}\right)(2\,560 - 885)\right] 200 \cdot 10^{-3} \approx \approx 408{,}2 \text{ Gcal/h},$$

iar variaţia finită a acestuia

$$Q_t - Q_{t0} = \Delta Q_t = \frac{\partial Q_t}{\partial D_{ad}} \cdot 7 + \frac{\partial Q_t}{\partial D_{cf}} \cdot 9{,}75 - \frac{\partial Q_t}{\partial t_g} \cdot 2 = = 408{,}2 - (2\,060 \cdot 200 \cdot 10^{-3}) = -3{,}8 \text{ Gcal/h},$$

consumul de căldură reducîndu-se deci la variaţia finită a mărimilor adoptate în exemplul de calcul.

## Concluzii

Dacă nu se îndeplineşte condiţia simultană (2'), caracteristica de consum a turbinei, $Q_t = f(P)$, este influenţată, după cum s-a arătat, de solicitările (aleatorii în anumite limite) circuitului regenerativ provenite din partea elementelor $C$, $I$ şi $R$.

Prin calcule se pot stabili coeficienţii de corecţie respectivi, necesari în cazul reducerii caracteristicii de consum la condiţiile de referinţă.

Consideraţiile de mai sus sînt valabile cu condiţia concentrării pierderilor de apă-abur la cazane. Admiterea altei repartizări (şi la turbine) ar duce la oarecari modificări ale relaţiilor.

**(Articol intrat în redacţie la 18 mai 1971)**

# CRONICĂ

În zilele de 29 noiembrie—1 decembrie 1971 a avut loc la Londra o întrunire a Comitetului pentru problemele pregătirii şi perfecţionării inginerilor, al Federaţiei mondiale a organizaţiilor de ingineri (F.M.O.I.).

Au luat parte eminenţi specialişti din mai multe ţări : Bulgaria, Canada, Egipt, Finlanda, R. D. Germană, India, Italia, Noua Zeelandă, Panama, România, Elveţia, Anglia, S.U.A. şi Venezuela.

Fondurile necesare au fost asigurate de UNESCO, reprezentată la sesiune de dr. Evstafiev, director pentru problemele învăţămîntului tehnologic şi cercetare, şi de A. S. Goodyear.

Comitetul a fost prezentat de dr. J. M. Ham (Canada), avînd ca secretar pe L.M. Nadeau, de la Consiliul canadian al inginerilor.

Discuţiile purtate s-au referit la interferenţa dintre învăţămîntul tehnic şi uzină, tipurile de activitate desfăşurate de personalul ingineresc din industrie, planul de studii privind metodologia dezvoltării, un sistem de informare pentru ţările în curs de dezvoltare, pregătirea continuă a inginerilor şi crearea unui sistem de informaţii între Comitetul F.M.O.I. şi diferitele comitete naţionale sau regionale pentru pregătirea şi perfecţionarea inginerilor.

În plus, a fost examinată activitatea la zi a comitetului, s-au stabilit viitoarele activităţi şi s-a adoptat un statut oficial care va călăuzi activitatea acestuia.

Ca urmare a acestor discuţii s-au format patru grupe ce vor efectua studii detaliate şi vor prezenta rapoarte, făcînd recomandări în următoarele domenii :

— Grupa I : interacţiunea dintre învăţămînt şi uzină ;
— Grupa II : planul metodologiei dezvoltării ;
— Grupa III : sistemul de informaţii pentru ţările în curs de dezvoltare ;
— Grupa IV : apropierea sistemului de formare a inginerilor de practica inginerească.

Aceste grupe de lucru îşi vor prezenta rapoartele şi recomandările pînă în iunie 1972.

Se prevede crearea unui Comitet regional permanent pentru pregătirea inginerilor în Asia de sud-est, aşa cum s-a propus la recenta întîlnire din Indonezia a reprezentanţilor din Asia de sud-est. De asemenea, s-a hotărît să se distribuie tuturor comitetelor naţionale şi regionale în problemele de învăţămînt şi pregătire a cadrelor rezumatele rapoartelor prezentate în şedinţele Comitetului.

Următoarea şedinţă a Comitetului va avea loc la Helsinki, între 21 şi 24 august 1972, imediat după seminarul FEANI-UNESCO, şi va dezbate tema „**Perfecţionarea pregătirii profesionale a inginerilor**".

Alte informaţii se pot obţine direct la adresa :

Dipl. Eng. L. M. NADEAU
General Manager
Canadian Council of Professional Engineers
Suite 401 ; 116 Albert Street, Ottawa 4, ONTARIO
CANADA

# Recenzii

**V. A. VENIKOV, A. A. GLAZUNOV, L. A. JUKOV şi L. A. SOLDATKINA.** Sisteme electrice, vol. II., Vîsşaia şkola, Moscova, 1971

În anul 1971 a apărut în editura Vîsşaia şkola din Moscova lucrarea „Sisteme electrice", reprezentînd volumul al II-lea al seriei de manuale didactice în şapte volume consacrate prezentării şi studiului complex al problemelor referitoare la sistemele electrice.

Cartea este scrisă de un grup de colaboratori ai catedrei de Sisteme electrice din Institutul energetic din Moscova, sub conducerea prof. dr. V. A. Venikov, care este şi şeful acestei catedre.

Se expun problemele de bază referitoare la calculul regimurilor reţelelor sistemelor electroenergetice, unele elemente privind partea de construcţii a liniilor aeriene şi a liniilor în cablu, precum şi pentru calculul caracteristicilor termice şi mecanice necesare la alegerea parametrilor părţii de construcţii a liniilor de transport a energiei electrice pentru diferite tensiuni.

Autorii acordă o deosebită atenţie calculelor de circulaţii de curenţi şi circulaţii de puteri, aplicării metodelor iterative, precum şi aplicării modelelor pentru analiza reţelelor electrice.

În cadrul lucrării se examinează, de asemenea, problemele privind calitatea energiei electrice şi reglarea tensiunii.

În partea introductivă, denumită „Noţiuni generale despre sistemele energetice, sistemele electroenergetice şi reţelele electrice", se expun definiţiile noţiunilor de bază utilizate în cadrul lucrării, condiţiile pe care trebuie să le îndeplinească regimurile de funcţionare ale sistemelor, destinaţia şi caracteristicile de bază ale reţelelor electrice, dîndu-se o clasificare a acestora.

Tot în această parte a cărţii se definesc categoriile de calcule referitoare la reţelele electrice, şi anume :

— *calcule electrice de dimensionare* — determinarea caracteristicilor electrice ;

— *calcule mecanice de dimensionare* — determinarea caracteristicilor constructive, mecanice, indicîndu-se în acelaşi timp categoriile de aproximaţii care se admit la calculul reţelelor.

În cadrul cursului se disting trei tipuri principale de regimuri :
— regim normal stabilizat ;
— regim stabilizat postavarie ;
— regim tranzitoriu.

În capitolul 1, denumit „Elemente de bază privind condiţiile de funcţionare şi execuţia constructivă a liniilor reţelelor electrice", autorii examinează problemele referitoare la condiţiile de funcţionare a liniilor electrice aeriene şi în cablu, precum şi elementele constructive componente care intră în structura acestora.

Problemele legate de calculul conductoarelor liniilor electrice aeriene sînt tratate într-o formă simplificată în capitolul 10, intitulat „Elementele de bază privind calculul conductoarelor active şi firele de gardă şi proiectarea părţii constructive a liniilor electrice aeriene".

Capitolul 2 al cărţii este consacrat expunerii elementelor de teorie privind transportul energiei electrice pe liniile reţelelor electrice. Se prezintă ecuaţiile fundamentale care determină regimul linii-

lor reţelelor electrice, schemele echivalente ale acestora şi se analizează regimurile de funcţionare ale unei linii electrice de transport, utilizînd diagrama circulară.

În continuare, în capitolul 3 autorii prezintă un tablou detaliat al caracteristicilor şi al parametrilor elementelor reţelelor electrice.

Capitolele 4 şi 5 se referă la calculul regimurilor de funcţionare ale reţelelor electrice simple (cap. 4) şi ale reţelelor electrice complexe (cap. 5).

În capitolul 4 se indică modul de elaborare a schemelor de calcul al regimurilor şi se prezintă diferite metode de obţinere a schemelor echivalente şi de calcul al regimurilor pentru reţele radiale şi buclate, precum şi al reţelelor buclate, alimentate la niveluri diferite de tensiuni.

Capitolul 5 cuprinde expunerea metodelor de calcul al regimurilor de funcţionare a reţelelor electrice complexe, utilizînd algebra matricială.

După o scurtă expunere a elementelor specifice calculelor de regimuri ale reţelelor electrice complexe şi a modului de reprezentare analitică a configuraţiei schemei de calcul al reţelei, în acest capitol se prezintă relaţiile de calcul şi succesiunea operaţiilor pentru :

— determinarea circulaţiei de curenţi cu ajutorul metodei tensiunilor nodale ;

— determinarea circulaţiei de curenţi prin metoda curenţilor de contur ;

— metodele iterative de rezolvare a ecuaţiilor de contur şi a ecuaţiilor nodale.

Tot în acest capitol autorii expun modul de aplicare a parametrilor generalizaţi la calculul regimurilor de funcţionare prin metoda suprapunerii efectelor, iar în încheiere se examinează aplicarea modelelor de reţea la calculul regimurilor de funcţionare a reţelelor complexe.

În capitolul 6, consacrat reglării regimurilor de funcţionare a reţelelor electrice, după ce se face analiza bilanţului de puteri active şi reactive şi se prezintă sursele de putere reactivă şi principalele lor caracteristici, autorii examinează succint problemele legate de reglarea regimurilor puterilor active şi reactive în liniile cu o singură sursă de alimentare sau în reţele buclate cu mai multe surse de alimentare şi de optimizare a regimurilor reţelelor electrice şi a sistemelor electroenergetice.

În capitolul 7 se prezintă metodologia calculelor comparative tehnico-economice bazată pe criteriul „cheltuieli de calcul actualizate (raportate la anul de referinţă)" şi modul de evaluare a pierderilor de energie electrică şi a costului acestora.

De asemenea, se prezintă modul de luare în considerare a pagubelor provocate de întreruperile în alimentarea consumatorilor la efectuarea calculelor de comparaţie tehnico-economică a variantelor de alimentare a acestor consumatori.

Problemele de calitate a energiei electrice şi reglarea tensiunii în reţelele sistemelor electroenergetice sînt tratate în mod detaliat în capitolul 8 al cărţii. Se examinează următoarele probleme :

— influenţa calităţii energiei electrice asupra funcţionării receptorilor de energie electrică şi asupra aparatelor electrice ;

— indicatorii de calitate ai energiei electrice ;

— problema reglării tensiunii în reţelele electrice ;

— mijloacele de variere şi de reglare a tensiunii în reţele ;

— variaţia coeficienţilor de transformare ai transformatoarelor şi ai autotransformatoarelor ;

— reglarea centralizată a tensiunii în centrele de alimentare ;

— noţiunea de pierderi admisibile de tensiune în reţelele de distribuţie.

În capitolul 9, consacrat proiectării reţelelor electrice, se examinează etapele principale ale dimensionării reţelelor electrice, şi anume :

— alegerea tensiunii nominale a reţelei ;

— bazele alegerii secţiunii conductoarelor şi cablurilor ;

— alegerea din punct de vedere economic a secţiunii conductoarelor şi cablurilor ;

— alegerea secţiunii conductoarelor în reţelele locale, din punctul de vedere al căderii admisibile de tensiune ;

— domenii de aplicare a condiţiilor suplimentare la alegerea secţiunii după căderea admisibilă de tensiune ;

— verificarea secţiunii conductoarelor şi a cablurilor din punct de vedere termic ; alegerea siguranţelor fuzibile ;

— determinarea puterii şi amplasarea instalaţiilor de compensare ;

— alegerea schemei optime a reţelei.

În ultimul capitol al cărţii (cap. 11) se analizează problema determinării regimurilor nesimetrice (speciale) de funcţionare a reţelelor sistemelor electrice, şi anume :

— caracteristica generală a regimurilor nesimetrice ;

— caracteristicile calculelor pentru determinarea parametrilor regimurilor speciale ;

— regimurile nesimetrice de funcţionare ale unei linii de transport ;

— efectele de simetrizare a bateriilor de condensatoare statice ;

— calculul regimurilor reţelelor electrice în cazul nesimetriilor multiple transversale ;

— calculul regimurilor nesimetrice caracterizate prin caracterul nesinusoidal al curenţilor de sarcină.

Cartea se adresează în special studenţilor facultăţilor electroenergetice, dar prin conţinutul său este foarte utilă specialiştilor electroenergeticieni care lucrează în domeniul studiilor, al proiectării şi al exploatării reţelelor sistemului electroenergetic.

Dr. ing. N. Chirculescu

# Prezenţe româneşti peste hotare

**Comitetul de studii nr. 34 CIGRE,** "Protecţie, automatizări şi dispozitive de telecomandă", organizează în 1973 un colocviu în Cehoslovacia, la care urmează să se prezinte două rapoarte generale, întocmite în urma unor anchete internaţionale asupra realizărilor obţinute în toată lumea şi a tendinţelor ce se manifestă în domeniile care constituie obiectele celor două rapoarte.

Raportul nr. 1, pentru a cărui întocmire a fost solicitat tov. prof. dr. ing. C. Penescu, membru corespondent al Academiei R. S. România, membrul român al comitetului sus-menţionat, are ca titlu: „Procedee şi echipamente de acţiune automată rapidă şi legături de telemecanică utilizate pentru scoaterea de sub tensiune şi repunerea în serviciu a instalaţiilor de diverse nivele ale sistemului energetic şi coordonarea lor cu dispozitivele de protecţie".

Al doilea raport, care va fi întocmit de dl. Frank von Roeschlaub, membrul american al comitetului, are ca titlu: „Automatizarea şi controlul stabilităţii la grupurile de mare putere".

**Două reprezentări prin grafe, utilizate la analiza vizuală a stării sistemelor energetice**

Articolul publicat în revista „Elektrotechnika" (R.P.U.), nr. 4–5/1971 (p. 89–96) are ca scop informarea specialiştilor din R.P. Ungară cu privire la noile posibilităţi oferite de analiza nodală DIMO, utilizată de aproape 20 de ani în R.S. România.

Se prezintă sub o formă nouă şi se definesc cele două concepte fundamentale, şi anume: schema REI şi imaginea nodală.

Este prezentat în primul rînd graful REI în mod general ca un graf liniar de fluenţă, în care nodul central reprezintă variabila dependentă, iar nodurile aflate la capetele razelor, variabilele independente. Se arată cum se utilizează un graf REI la sisteme energetice.

Se prezintă apoi „imaginea nodală": definiţia, modul de construcţie şi domeniul de utilizare pentru reprezentarea modului de comportare a sistemelor energetice în diferite probleme.

Se arată în încheiere avantajele deosebit de mari oferite de această metodă în conversaţia dintre operator şi maşina de calcul, precum şi lucrările realizate în acest sens în România.

Ing. **T. Laszlo**

În nr. 9 (septembrie) 1971 al revistei „Energietechnik" (R. D. Germană) a apărut articolul „Gospodăria energiei în R. S. România" semnat de ing. N. Armencoiu şi ing. A. Mişu.

În nr. 12 (decembrie) 1971 al revistei „Brennstoff–Wärme – Kraft"(R.F. a Germaniei) a apărut articolul „Balanţa energiei primare şi perfecţionarea industriei energetice în R. S. România", semnat de ing. N. Armencoiu şi prof. ing. I. D. Stăncescu.

Revista „ENERGETICA"– organ al Ministerului Energiei Electrice şi al Consiliului Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor din R.S. România (CNIT). Redacţia: Bucureşti, str. Galaţi nr. 5–7, Sectorul II Tel. 136683, 130053. Instituţiile pot achita abonamente pentru biblioteci şi cabinete tehnice în contul nostru de virament nr. 30.01 01.00 B.N.R.S.R. – Sectorul VI. Tarif pentru întreprinderi lei 100 anual. Tarif pentru muncitori, tehnicieni şi ingineri lei 30 anual. Preţul unui exemplar lei 5

Taxele poştale plătite în numerar conform aprobării D.G.P.T. nr. 10.1095, 1967

I.P.I. c 1218

## *OFICIUL DE DOCUMENTARE ENERGETICĂ*
***Bucureşti, str. Galaţi nr. 5–7***
***— Sectorul 2 —***

**Oficiul de Documentare Energetică (O.D.E.) este organul de specialitate al Ministerului Energiei Electrice pentru informarea şi documentarea tehnică şi economică în ramura energetică.**

**O.D.E. editează şi difuzează revistele tehnice de specialitate din ramura energetică.**

**O.D.E. editează şi difuzează periodicele documentare privind ramura energetică.**

**O.D.E. editează şi difuzează publicaţiile tehnice departamentale: prescripţii tehnice (normative, regulamente, instrucţiuni, condiţii tehnice, fişe tehnologice, norme interne etc.), norme şi carnete de protecţie a muncii, note tehnice, studii documentare etc.**

**O.D.E. editează şi difuzează materiale de popularizare şi propagandă tehnico-economică: afişe, pliante, broşuri, albume etc.**

**O.D.E. execută, la cerere, traducerea din orice limbă a materialelor şi documentaţiilor tehnice ca: articole, referate, prescripţii, cataloage de produse, prospecte şi alte lucrări de specialitate.**

***Revistele tehnice editate de O.D.E.:***

**„Energetica"**
**„Producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice şi termice"**
**„Construcţii şi montaje energetice"**
**„Studii şi cercetări în energetică" şi suplimentul „Utilizarea calculatoarelor în electroenergetică"**

***Periodicele documentare editate de O.D.E.:***

**„Buletinul de informare pentru cadrele de conducere din energetică"**
**„Buletinul de documentare tehnică în energetică"**

Caiete selective pe temele:

**„Proiectarea şi executarea construcţiilor şi instalaţiilor energetice"**
**„Exploatarea, întreţinerea şi repararea instalaţiilor energetice"**
**„Protecţia muncii şi paza contra incendiilor în construcţiile şi instalaţiile energetice"**
**„Fişe documentare"**
**„Prescripţii tehnice în sectorul energetic"**

***Abonaţi-vă la revistele şi publicaţiile periodice editate de Oficiul de documentare energetică pentru a fi la curent cu toate problemele şi noutăţile tehnice ce apar în activităţile de cercetare, dezvoltare, proiectare, execuţie şi exploatare din ramura energetică.***

***Folosiţi serviciile pe care vi le oferă Oficiul de documentare energetică pentru procurări de cărţi şi reviste străine, traduceri, lucrări reprografiate etc.***

**O.D.E. – M.E.E. – Bucureşti, Str. Galaţi nr. 5 – 7, sectorul 2**
**telefon: 15.16.28 – 14.00.17. – 13.00.53**

# MUZEUL TEHNIC „PROF. ING. DIMITRIE LEONIDA"

**În ansamblul serviciilor pe care OFICIUL DE DOCUMENTARE ENERGETICĂ le pune la dispoziția beneficiarilor săi, un loc deosebit îl ocupă documentarea tehnico-științifică realizată prin MUZEUL TEHNIC „PROF. ING. DIMITRIE LEONIDA".**

**Situat în cadrul pitoresc al Parcului Libertății din București, acest muzeu constituie — prin originalitatea, valoarea exponatelor și unicitatea sa — o piesă de o deosebită valoare în tezaurul expozițional românesc. Cele peste 6 000 de exponate, diorame, machete, modele de mașini — în mișcare sau secționate — ilustrează într-un mod atrăgător și instructiv istoria tehnicii, în special a celei românești, precum și eforturile inteligenței românești, care prin contribuția adusă la dezvoltarea științei și tehnicii se situează pe un loc de frunte în lume.**

**Muzeul este organizat pe șase sectoare principale, și anume :**

**— Mecanică**

**— Magnetism, electricitate**

**— Minerit și căldură**

**— Iluminat, telecomunicații și chimie**

**— Hidraulică**

**— Mașini industriale.**

**Prin varietatea și bogăția exponatelor sale, MUZEUL TEHNIC „PROF. ING. DIMITRIE LEONIDA" oferă vizitatorilor multiple posibilități de instruire individuală și colectivă, prin lecții și demonstrații practice, cicluri de conferințe și prelegeri pe teme de istorie a științei și tehnicii, susținute de filme și diapozitive. De asemenea, muzeul dispune de o bibliotecă tehnico-științifică de peste 25 000 de volume, precum și de numeroase materiale vizuale (filme, diapozitive).**

**Muzeul este deschis în fiecare zi, cu excepția zilei de luni.**

# IMPORTANT

## pentru elaboratorii de lucrări ce se editează prin Oficiul de documentare energetică

Institutele, centralele, trusturile, întreprinderile Ministerului Energiei Electrice care elaborează lucrări (prescripţii tehnice, materiale didactice, de propagandă etc.) ce urmează să fie editate prin Oficiul de documentare energetică vor respecta următoarele condiţii, la predarea manuscriselor :

**— Textul va fi dactilografiat la 2 sau 1 ½ rînduri, în dublu exemplar (originalul şi prima copie).**

**— Nu se admit intervenţiile de mînă decît în cazuri excepţionale, scrise clar (cu cerneală, pastă sau tuş negru).**

**— Formulele vor fi scrise cît mai îngrijit, în special exponenţii, indicii, literele greceşti etc.**

**— Desenele — executate în tuş, pe calc — nu vor depăşi formatul $A_3$ la lucrările ce se multiplică la rotaprint, respectiv formatul $A_2$ la lucrările ce se execută la tipar. Desenele de dimensiuni mai mari — admise în mod excepţional — vor avea liniile şi inscripţiile (texte explicative, cifre) scrise la dimensiuni şi grosimi corespunzătoare, astfel încît prin micşorare să ajungă la dimensiunile obişnuite. Este de preferat ca volumul de texte şi cifre ale desenelor să se rezume la strictul necesar şi, pe cît este posibil, textele descriptive ale diferitelor elemente să fie numerotate şi introduse în legenda figurii.**

**— Fotografiile vor fi prezentate pe hîrtie lucioasă, cu contrast puternic, fără umbre. Pentru lucrările multiplicate la rotaprint se va evita, pe cît posibil, utilizarea fotografiilor.**

**— Desenele şi fotografiile vor fi numerotate în ordinea prezentării lor în text. Locurile de plasare a desenelor vor fi marcate cu numerele respective atît în text cît şi pe marginea acestuia. În cazul în care autorul consideră utilă plasarea desenelor sau a fotografiilor la sfîrşitul lucrării, va preciza acest lucru.**

**— Tabelele vor fi dactilografiate şi numerotate în ordinea prezentării lor în text.**

**— Bibliografia va cuprinde, în ordine : autorul (numele şi iniţiala prenumelui), titlul lucrării (în limba originalului, dacă lucrarea nu este tradusă), titlul publicaţiei în care a apărut (dacă se citează un articol), numărul, anul şi pagina ; editura, localitatea şi anul apariţiei (dacă se citează o carte). În text se vor face, în mod obligatoriu, trimiteri la bibliografia citată, prin indicarea numărului de ordine între paranteze drepte.**

Unităţilor care nu vor respecta aceste reguli li se vor restitui manuscrisele pentru a le aduce în forma corespunzătoare.



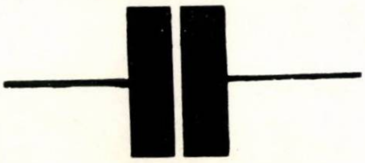
[library stamp: ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁR ÉS DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT 1883]

# ÎNTREPRINDEREA DE PIESE RADIO ŞI SEMICONDUCTORI BĂNEASA

Str. Erou Iancu Nicolae nr. 32, BUCUREŞTI II — ROMÂNIA
Telefon 33 38 30 Telex 011.203 Serv. Desfacere 33.53.17

## PIESE RADIO

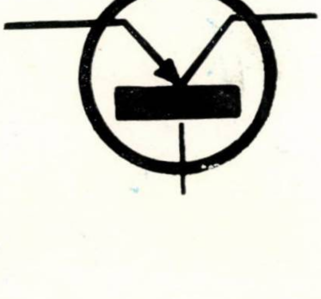
- Rezistoare fixe cu peliculă de carbon
- Rezistoare bobinate
- Termistoare
- Condensatoare cu poliester
- Condensatoare cu polistiren
- Condensatoare electrolitice normale
- Condensatoare electrolitice miniatură
- Condensatoare ceramice
- Condensatoare cu hîrtie uz general
- Condensatoare cu hîrtie metalizate
- Condensatoare telefonice
- Condensatoare auto
- Condensatoare pentru tuburi fluorescente
- Cablaje imprimate



## DISPOZITIVE SEMICONDUCTOARE

- Tranzistoare cu germaniu, de joasă frecvenţă
  - — de mică putere
  - — de medie putere
- Tranzistoare cu germaniu de înaltă frecvenţă
  - — de mică putere
  - — drift de mică putere
- Diode cu germaniu contact punctiform
- Redresoare cu germaniu de medie putere
- Fotodiode cu germaniu
- Diode redresoare cu siliciu
  - — de mică putere
  - — de putere

*I.P.R.S.*
*Băneasa*



# IRE SIBIU

Str.Uzinei nr.7,telefon 14850

PROIECTEAZA:

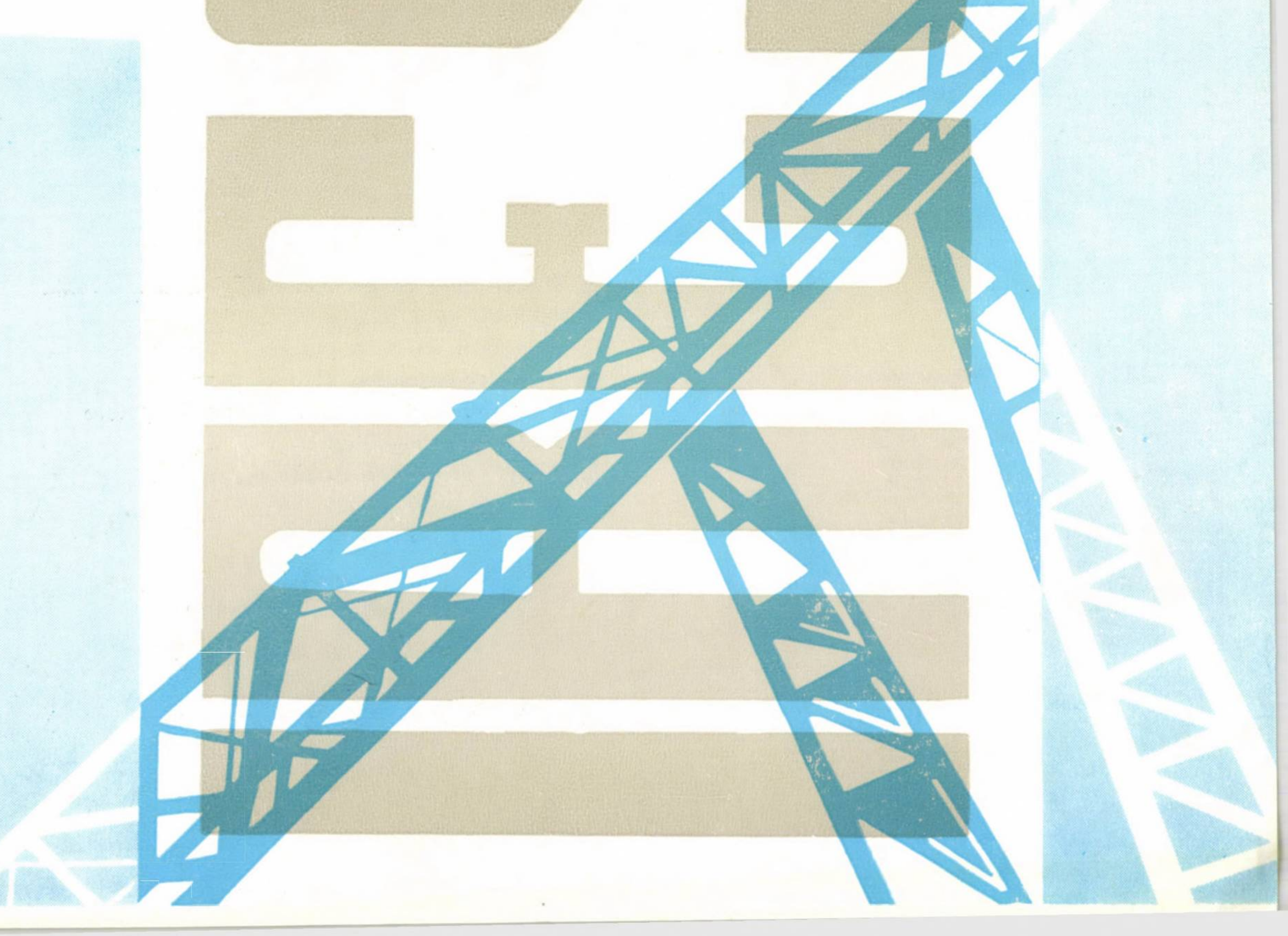
- posturi şi staţii de transformare
- linii electrice aeriene şi subterane de transport şi distribuţie
- instalaţii de iluminat exterior
- automatizări şi modernizări în instalaţii electrice

CONSTRUIESTE:

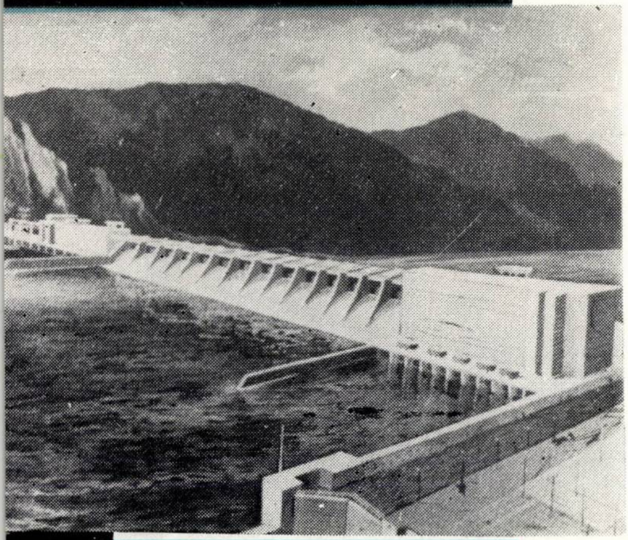
- linii electrice aeriene şi subterane de joasă tensiune
- linii electrice de medie tensiune şi posturi de transformare pentru electrificări rurale

EXECUTA:

- branşamente şi instalaţii electrice interioare de lumină şi forţă

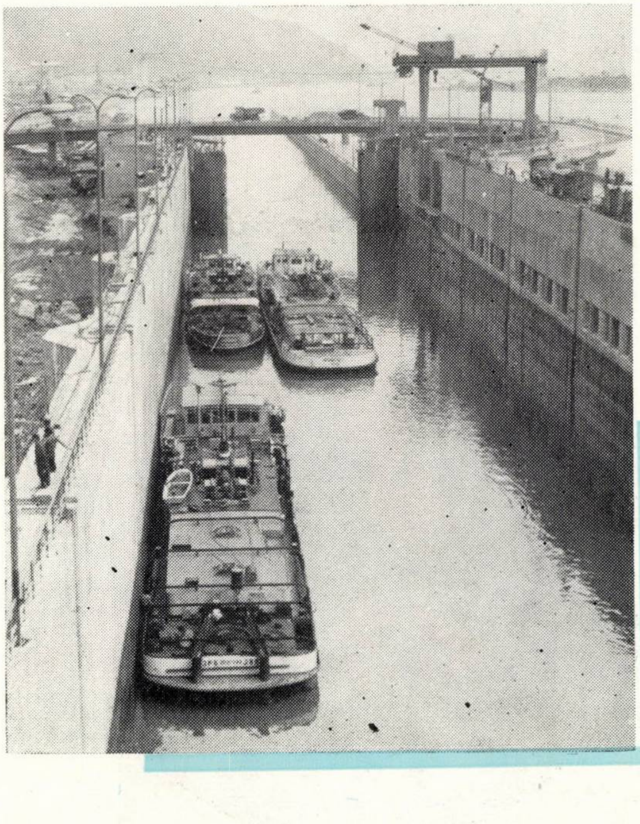
ICH bucureşti



INTREPRINDEREA DE CONSTRUCȚII HIDROENERGETICE - BUCUREȘTI

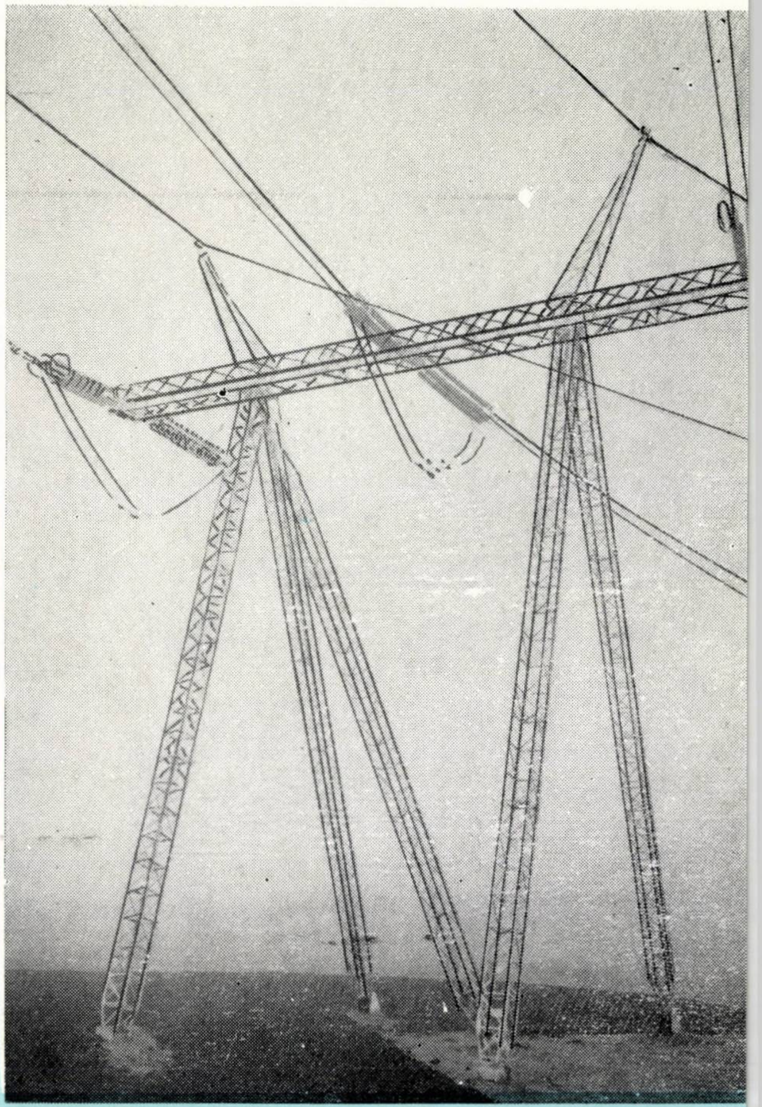
EXECUTĂ :

. Baraje de toate genurile
. Centrale hidroelectrice subterane şi de suprafaţă
. Castele de echilibru
. Ecluze
. Tuneluri şi galerii hidrotehnice
. Canale şi diguri
. Amenajări pentru alimentarea cu apă a marilor industrii
. Complexe pentru producerea agregatelor de betoane.



I. C. H. - BUCUREȘTI
Str. Dimitrie Onciul nr. 23-25
Telefon : 35. 54. 70
Telex : INCOHIDROEN 011 - 244
Bucureşti 3

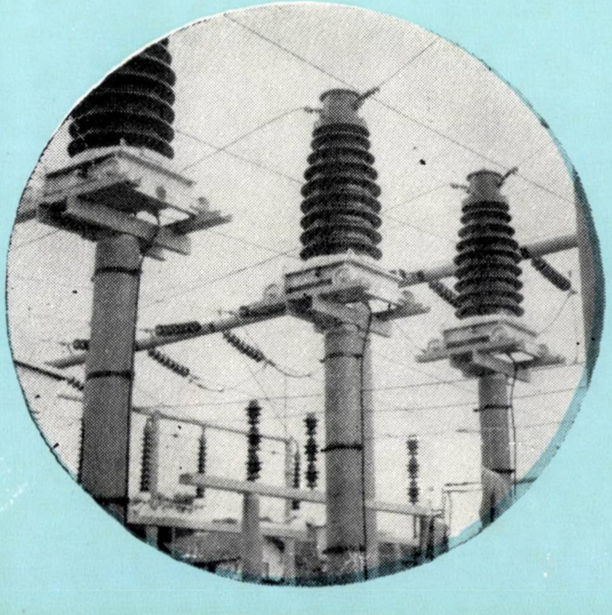
# i.r.e. cluj



ÎNTREPRINDEREA DE REȚELE ELECTRICE

str. 30 Decembrie nr 27 CLUJ

**asigură alimentarea cu energie electrică din sistemul național a tuturor consumatorilor urbani și rurali din zonă, în condiții de siguranță și de calitate**



**proiectează linii electrice aeriene și subterane de înaltă, medie și joasă tensiune, stații și posturi de transformare, electrificări rurale, automatizări și modernizări în instalații**

✱

**execută linii, stații și posturi de transformare, electrificări rurale, instalații electrice interioare în mediul urban și rural**

✱

# INTREPRINDEREA DE PIESE RADIO ŞI SEMICONDUCTORI
# BĂNEASA

Str. Erou Iancu Nicolae nr. 32, BUCUREŞTI II — ROMÂNIA
Telefon 33.38.30 Telex 011.203 Serv. Desfacere 33.53.17

REZISTOARE
- cu peliculă de carbon
- bobinate

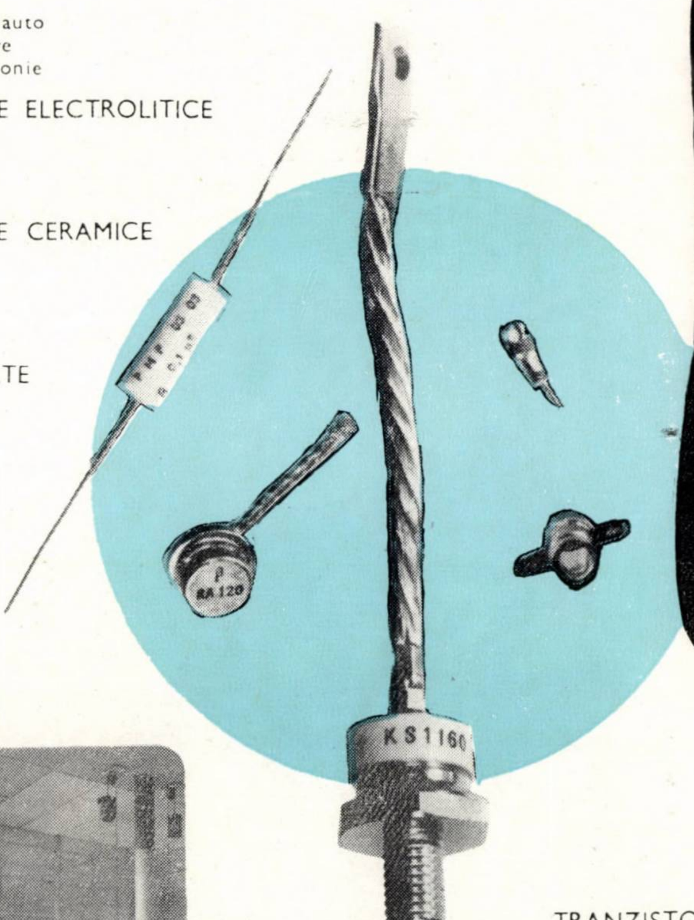
TERMISTOARE
- ceramice

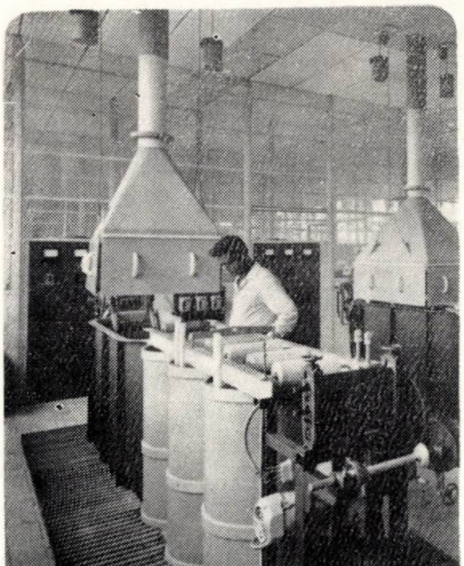
CONDENSATOARE
- polistiren (tip styroflex)
- poliester metalizat
- hîrtie metalizată
- hîrtie echipament auto
- hîrtie antiparazitare
- hîrtie pentru telefonie

CONDENSATOARE ELECTROLITICE
- normale
- miniatură
- nepolarizate

CONDENSATOARE CERAMICE
- disc
- tubulare
- plachetă
- ajustabile

CABLAJE IMPRIMATE


TRANZISTOARE
- de joasă frecvenţă
- de înaltă frecvenţă şi comutaţie
- de putere

DIODE
- de semnal şi comutaţie
- redresoare
- redresoare pentru curenţi mari
- stabilizatoare de tensiune
- de putere cu siliciu

CIRCUITE INTEGRATE

# i.e.m. cîmpina

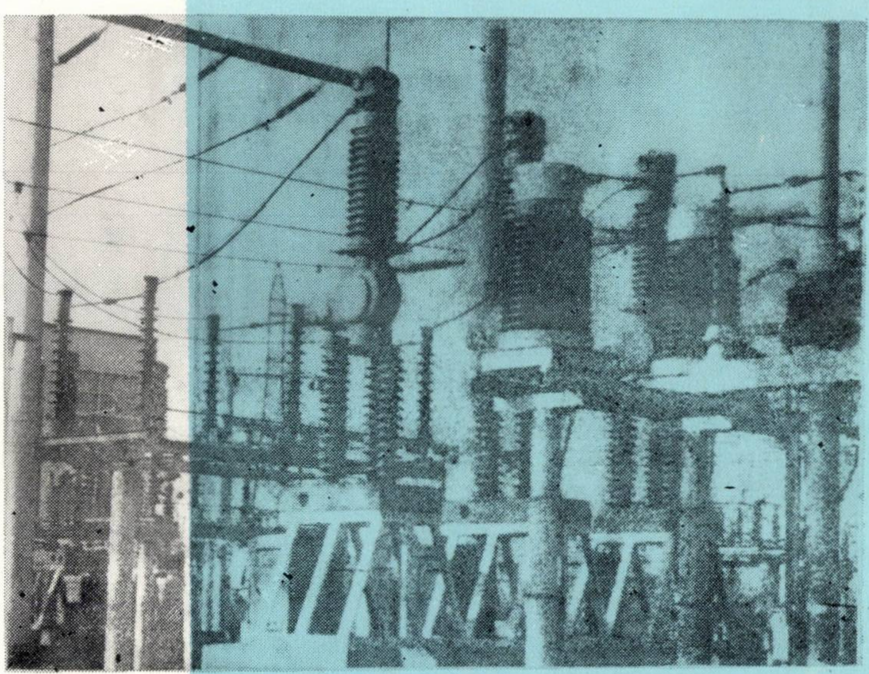
Intreprinderea Electromontaj Cîmpina îşi desfăşoară activitatea în 14 judeţe din ţară şi execută:

- staţii electrice pînă la 400 kV şi posturi de transformare de orice mărime şi raport de transformare;
- linii electrice aeriene de transport şi distribuţie pentru tensiuni pînă la 400 kV;
- linii electrice de distribuţie în cablu de înaltă, medie şi joasă tensiune;
- electrificări rurale;
- instalaţii de iluminatul public.

CIMPINA,str.Galaţi nr.12,jud.Prahova
telefon :142o-telex:o19612

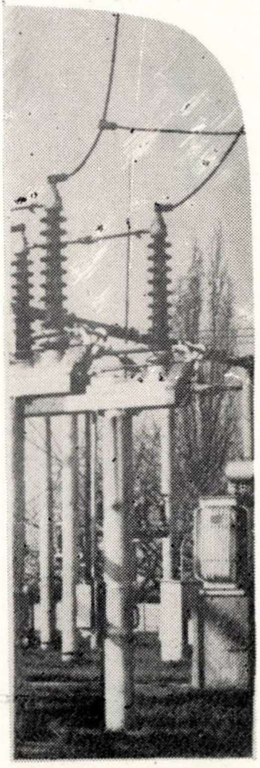
# i.r.e. bacău

Str. Karl Marx nr. 33
Telefon : 16 050



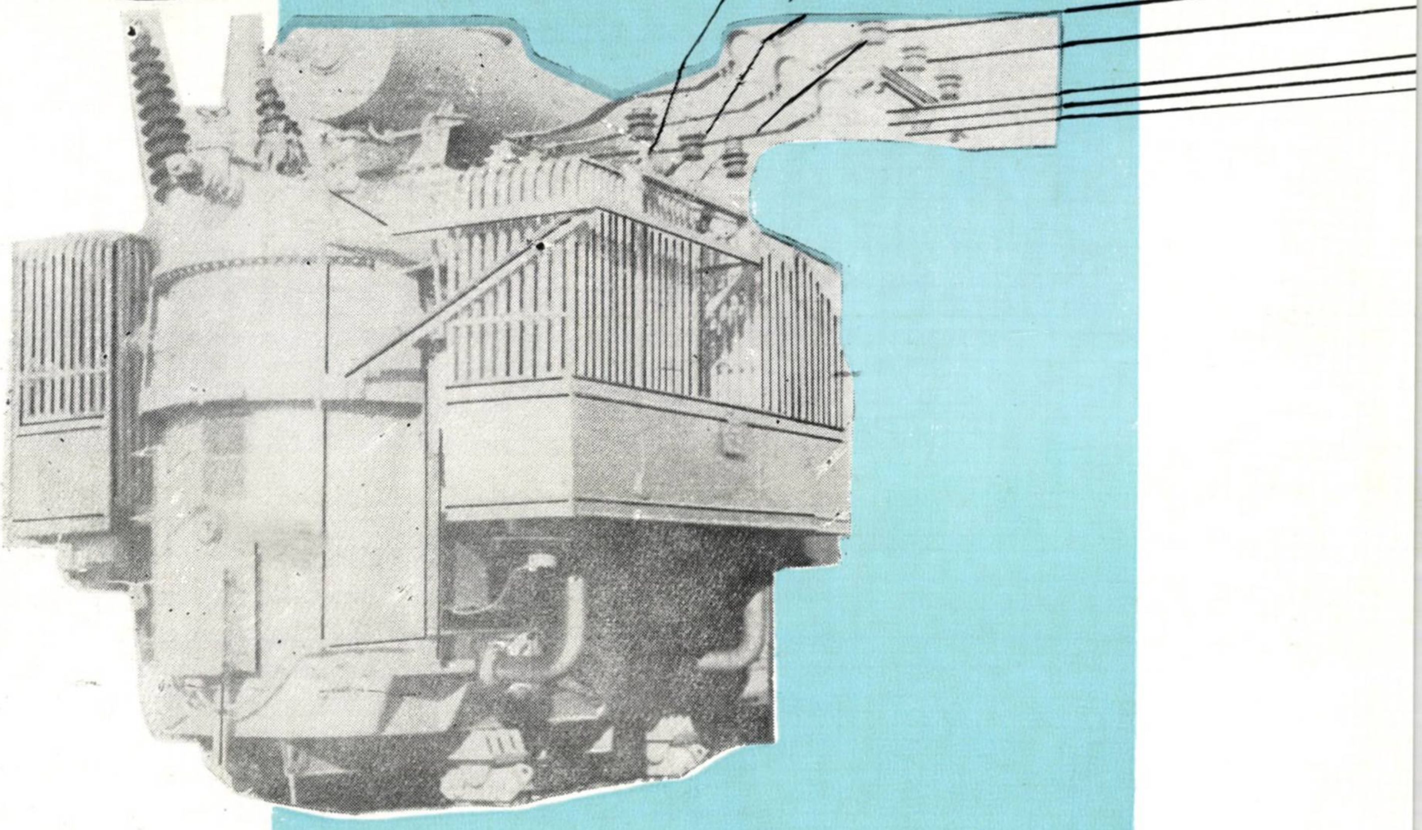
- Transportă şi distribuie energie electrică prin reţelele sale, alimentate din sistemul energetic naţional, asigurînd tuturor consumatorilor de energie electrică o bună deservire
- Proiectează reţele, staţii şi posturi de transformare, instalaţii interioare în mediul urban şi rural; instalaţii de iluminat exterior
- Execută reţele şi posturi de transformare
- Execută încercări profilactice la aparatajul electric şi verificări de protecţii prin relee
- Asigură buna deservire a consumatorilor de energie electrică din sectorul industrial, agricol şi casnic din zonă
- Execută verificări de aparate electrice de măsură şi control în laboratorul PRAM.

- Adresaţi-vă serviciilor de specialitate ale întreprinderii, care vă stau la dispoziţie pentru rezolvarea în cele mai bune condiţii tehnice şi economice şi tuturor problemelor privind alimentarea cu energie electrică.



**ÎNTREPRINDEREA DE REŢELE ELECTRICE BACĂU,**

# I.E.M cluj

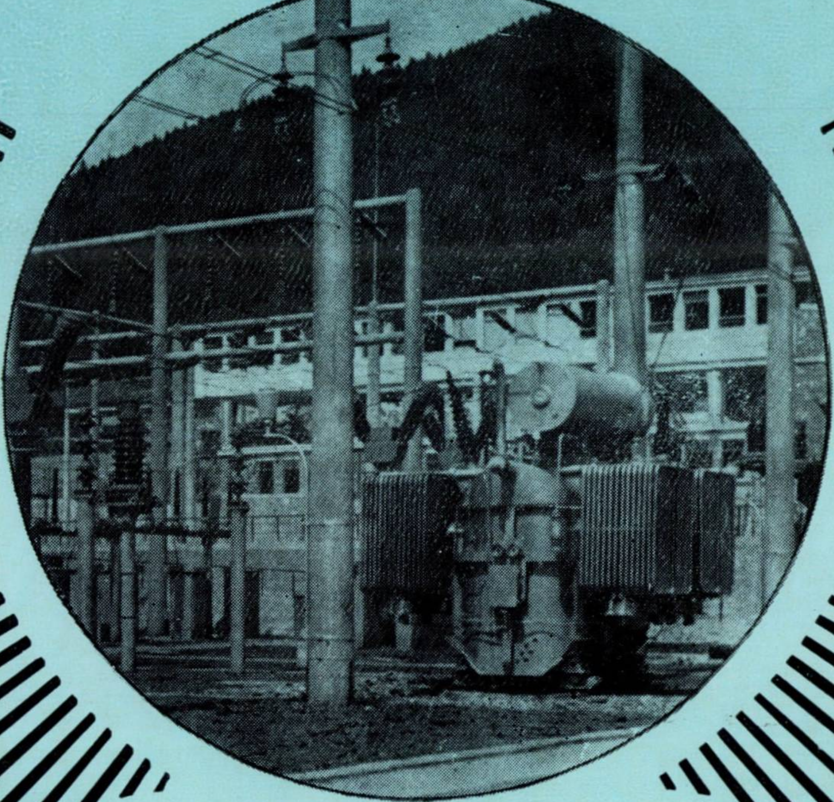


EXECUTĂ :

- linii electrice de transport pentru tensiuni pînă la 400 kV,
- linii electrice de distribuţie,
- reţele electrice în cablu subteran pînă la 35 kV,
- staţii de distribuţie şi posturi de transformare,
- clădiri pentru staţii şi posturi de transformare

ÎNTREPRINDEREA ELECTROMONTAJ CLUJ
Str. 30 Decembrie nr. 27

# întreprinderea de rețele electrice PLOIEȘTI



**• EFECTUEAZĂ**

**încercări profilactice la aparatajul electric și verificări de protecție prin relee**

**• ASIGURĂ**

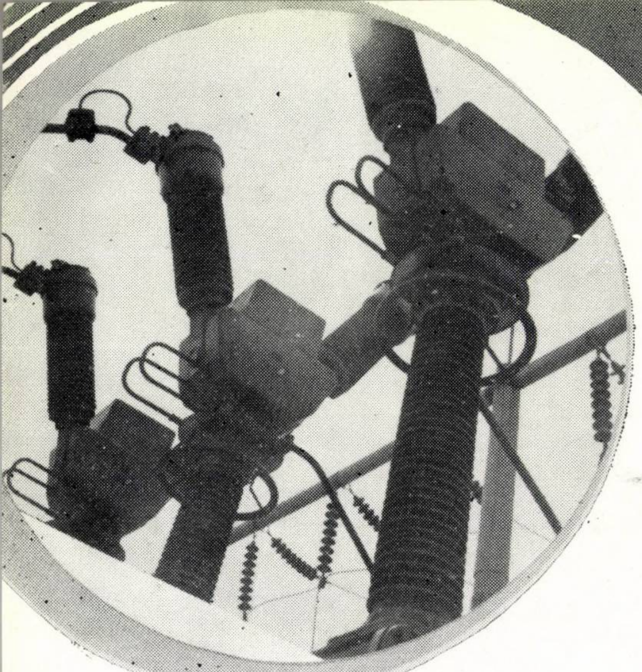
**buna deservire a consumatorilor de energie electrică din sectorul industrial, agricol și casnic din zonă**

**• PROIECTEAZĂ, EXECUTĂ ȘI EXPLOATEAZĂ**

**posturi și stații de transformare, linii electrice aeriene și subterane de transport și distribuție, instalații de iluminat exterior, instalații electrice interioare**

*ÎNTREPRINDEREA DE REȚELE ELECTRICE PLOIEȘTI*

INTREPRINDEREA DE REȚELE ELECTRICE DEVA
Str. George Enescu nr. 35—39



IRE * DEVA

*asigură :*

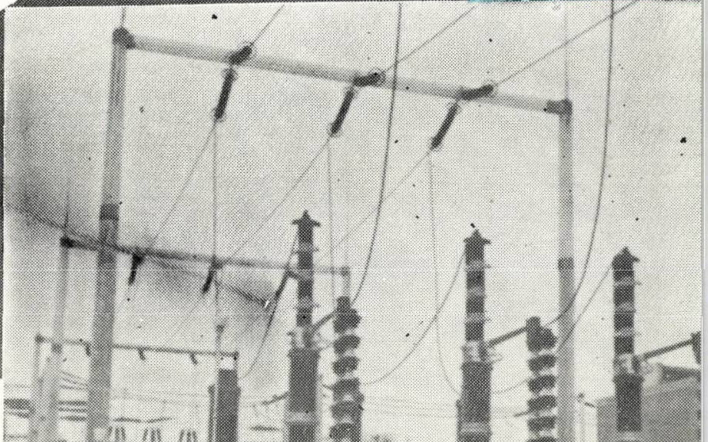
● buna deservire a consumatorilor de energie electrică din sectorul industrial, agricol, feroviar și casnic din regiune

*proiectează și execută :*

● rețele, posturi, stații de medie și înaltă tensiune, branșamente și instalații interioare în mediul urban și rural, la orice categorie de consumatori

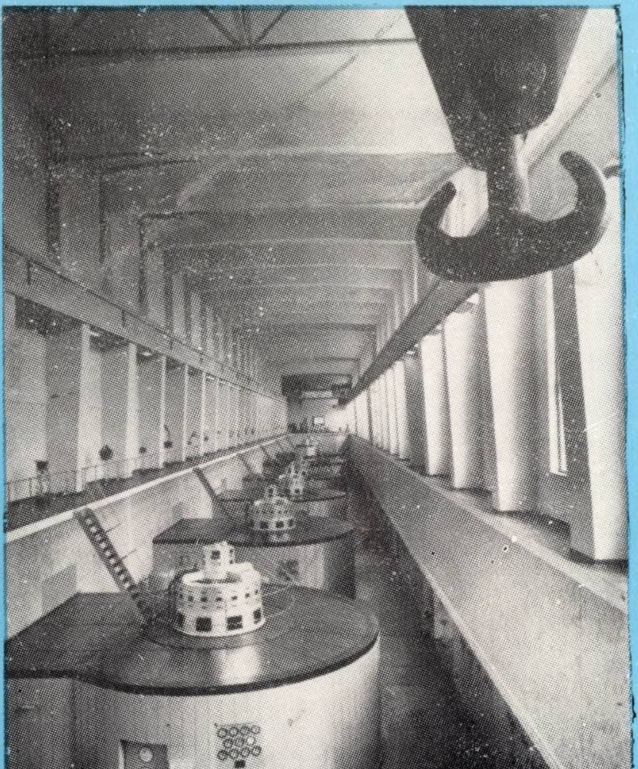
*proiectează și execută :*

● automatizări și modernizări de instalații electrice



# ICH

# BISTRITA



ICH Bistriţa furnizează energie electrică sistemului energetic naţional

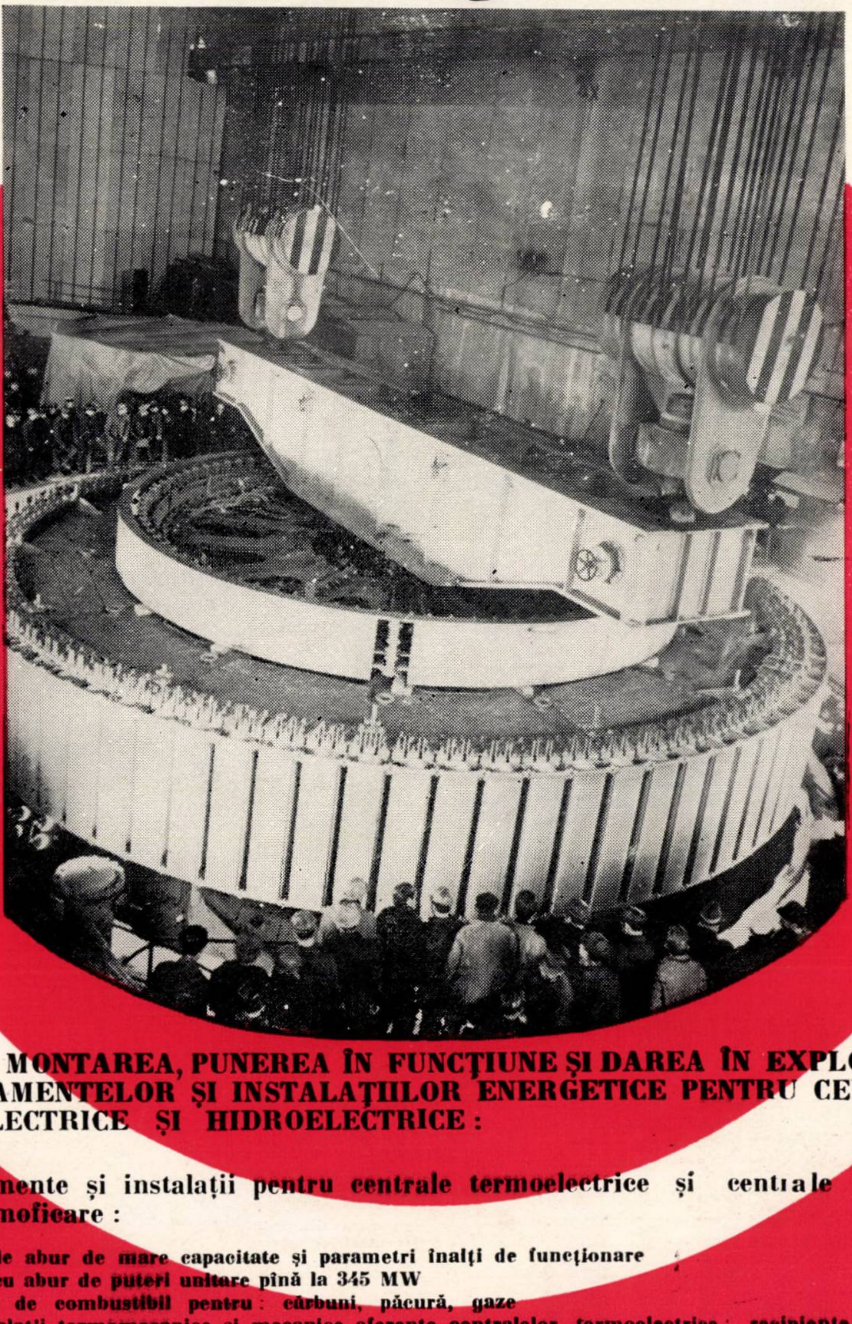
- Prin exploatarea raţională a lacului de acumulare, creat prin barajul Izvorul Muntelui, se asigură, pe lîngă producerea energiei electrice, şi alimentarea cu apă a consumatorilor industriali şi a terenurilor agricole din aval

**Intreprinderea de centrale hidroelectrice Bistriţa**
**Piatra-Neamţ, str. Lt. Drăghiescu nr. 13, Judeţul Neamţ**

I R M E contribuie la ridicarea nivelului de exploatare şi la introducerea automatizărilor în instalaţiile de cazane din centralele electrice.

Bucureşti, sect.4,
Str.Releului nr.2

# ÎNTREPRINDEREA Energomontaj



**EXECUTĂ MONTAREA, PUNEREA ÎN FUNCŢIUNE ŞI DAREA ÎN EXPLOATARE A ECHIPAMENTELOR ŞI INSTALAŢIILOR ENERGETICE PENTRU CENTRALE TERMOELECTRICE ŞI HIDROELECTRICE:**

- **Echipamente şi instalaţii pentru centrale termoelectrice şi centrale electrice de termoficare:**
  - cazane de abur de mare capacitate şi parametri înalţi de funcţionare
  - turbine cu abur de puteri unitare pînă la 345 MW
  - instalaţii de combustibil pentru: cărbuni, păcură, gaze
  - alte instalaţii termomecanice şi mecanice aferente centralelor termoelectrice: recipiente, conducte, pompe etc.

- **Echipamente şi instalaţii pentru centrale hidroelectrice şi instalaţii hidrotehnice:**
  - turbine hidraulice de orice tip, pînă la puteri unitare de 176 MW
  - conducte forţate
  - echipamente şi alte instalaţii hidromecanice şi mecanice pentru centrale hidroelectrice şi termoelectrice
  - echipamente şi instalaţii pentru ecluze

- **Echipamente şi instalaţii electrice pentru centrale termoelectrice şi hidroelectrice, staţii electrice şi instalaţii speciale:**
  - instalaţii de comutaţie primară pînă la tensiunea de 400 kV inclusiv
  - instalaţii de servicii interne în centrale şi staţii electrice
  - instalaţii de comutaţie secundară
  - instalaţii de automatizare

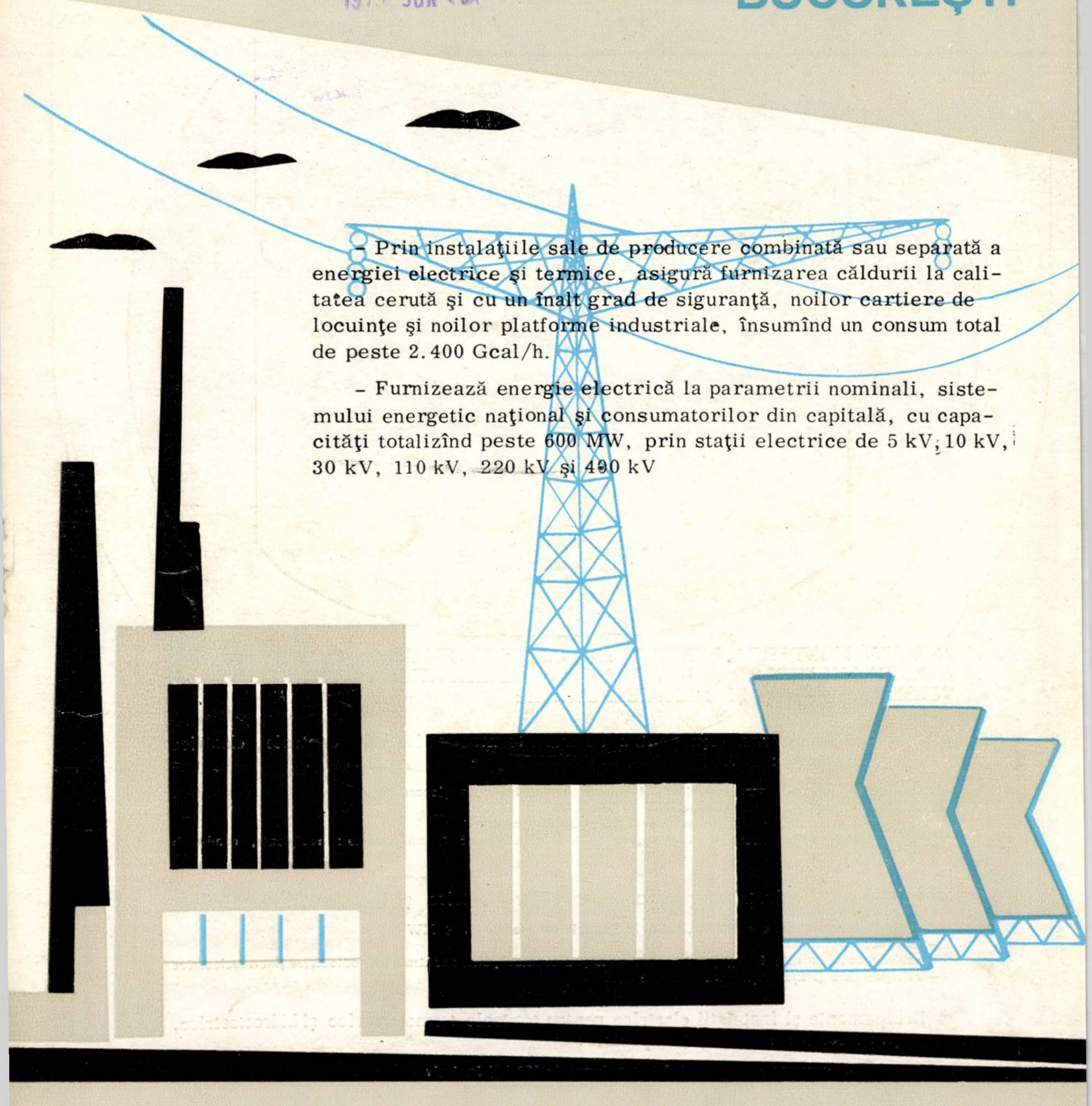
BUCUREŞTI, Calea Dorobanţi nr. 105 Telefon: 12.76.30, telex: 335

ÎNTREPRINDEREA

# ELECTROCENTRALE

BUCUREŞTI

1973 JUN 13



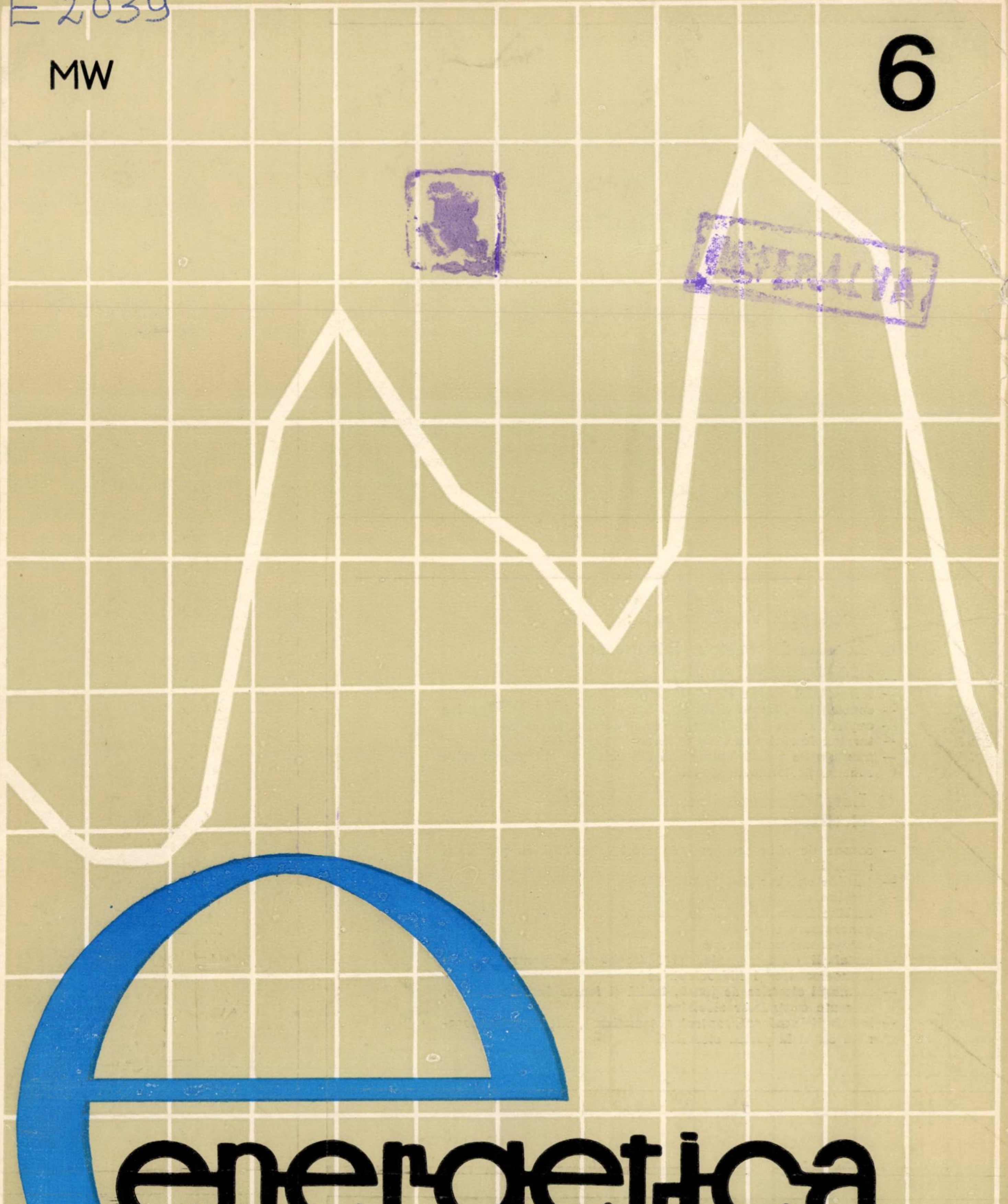
- Prin instalaţiile sale de producere combinată sau separată a energiei electrice şi termice, asigură furnizarea căldurii la calitatea cerută şi cu un înalt grad de siguranţă, noilor cartiere de locuinţe şi noilor platforme industriale, însumînd un consum total de peste 2.400 Gcal/h.

- Furnizează energie electrică la parametrii nominali, sistemului energetic naţional şi consumatorilor din capitală, cu capacităţi totalizînd peste 600 MW, prin staţii electrice de 5 kV, 10 kV, 30 kV, 110 kV, 220 kV şi 400 kV

ÎNTREPRINDEREA ELECTROCENTRALE BUCUREŞTI Spl. Independenţei 229

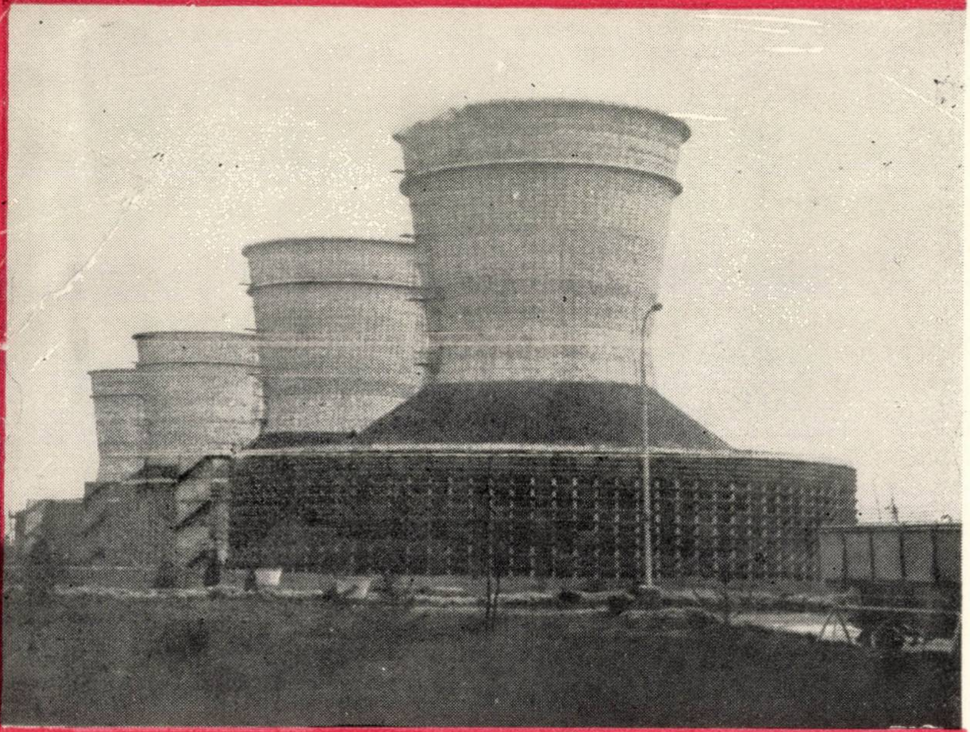
E 2039

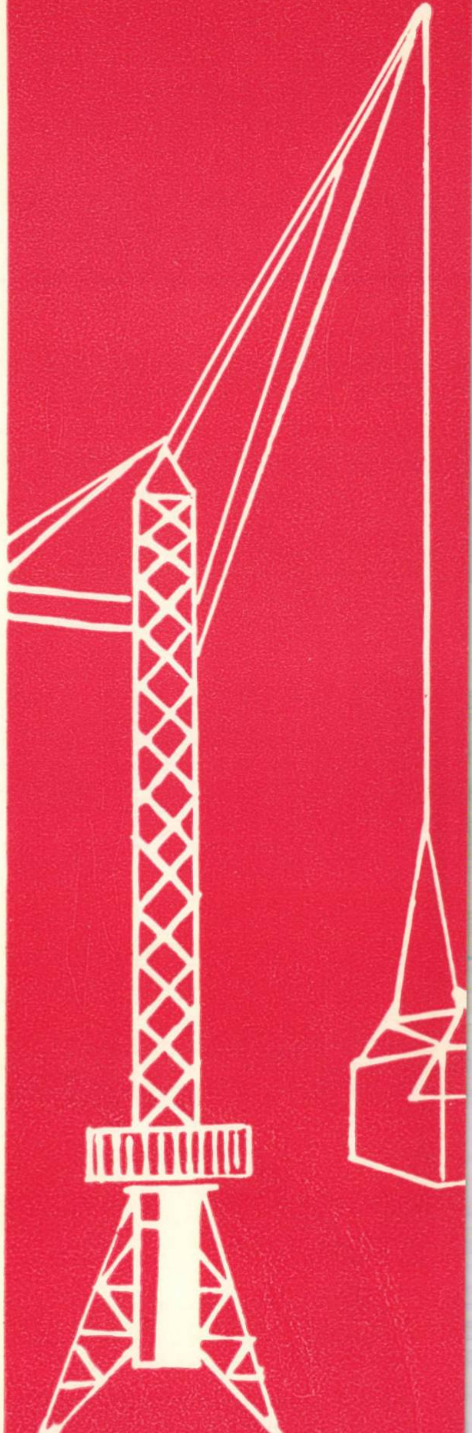
6




# energetica

VOLUMUL XX
BUCUREȘTI • IUNIE 1972






Execută prin unităţile sale:

● **Lucrări de construcţii termoenergetice:**

— centrale termoelectrice
— termoficări urbane şi industriale
— construcţii hidrotehnice aferente centralelor termoelectrice
— coşuri de fum prin glisare, cu înălţimi pînă la 250 m
— turnuri de răcire cu tiraj natural şi tiraj forţat
— montaje de prefabricate grele din beton armat pentru orice construcţie termoenergetică

● **Lucrări de montaj pentru centrale termo şi hidroelectrice:**

— cazane de abur moderne de mari capacităţi cu parametri ridicaţi
— turbine cu abur pînă la 345 MW
— turbine cu gaze pînă la 35 MW
— turbine hidraulice pînă la 176 MW
— generatoare electrice
— compensatoare sincrone
— instalaţii termomecanice şi hidromecanice pentru centrale termoelectrice şi hidroelectrice
— instalaţii electrice de joasă, înaltă şi foarte înaltă tensiune, aferente centralelor electrice
— instalaţii de măsură, control, automatizare, atît la partea mecanică cît şi la partea electrică.

**TCME**

**TRUSTUL DE CONSTRUCŢ**
**ŞI MONTAJE ENERGETIC**

*— B U C U R E Ş T I —*

*Calea Moşilor nr. 158 Sectorul 4*

*telefon: 16.63.30. telex 271*

E 2039

# ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 1972 Nr. 6 Iunie

## Cuprinsul

| | | Pag. |
|---|---|---|
| | **Inaugurarea Sistemului hidroenergetic şi de navigaţie Porţile de Fier** | 221–222 |
| *Stoica, Gh.* | **20 de ani de la înfiinţarea întreprinderii „Energoreparaţii"** | 223–225 |
| *Săftoiu, Gh.* | **Realizări şi perspective în activitatea întreprinderii „Energoreparaţii"** | 226–229 |
| *Istrate, I.* | **Utilizarea proprietăţilor numerelor complexe la calculul echilibrării rotoarelor la turaţie nominală** | 230–235 |
| *Catanchin, Al.* şi *Vasilescu, N.* | **Cu privire la soluţia de repunere în funcţiune după avarie a turbinei nr. 2 Iaşi prin reconstrucţia roţii de reglaj** | 235–240 |
| *Covar, E.* | **Mărirea siguranţei de funcţionare a reţelelor electrice interioare la combinate chimice cu proces tehnologic continuu** | 240–255 |
| *Dobrinescu, D.* | **Majorarea recuperării căldurii din gazele de regenerare a catalizatorilor de cracare** | 255–262 |
| *Cristea, H.* şi *Brînzaru, G.I.* | **Afişajul grafic al imaginilor caracteristice comportării grupurilor de mare putere dintr-o centrală electrică** | 262–267 |
| *Bălan, V. F.* | **Înlăturarea compuşilor cu vanadiu şi sodiu din zonele de temperatură înaltă, la arderea păcurii cu conţinut ridicat de sulf, în centrale** | 267–273 |

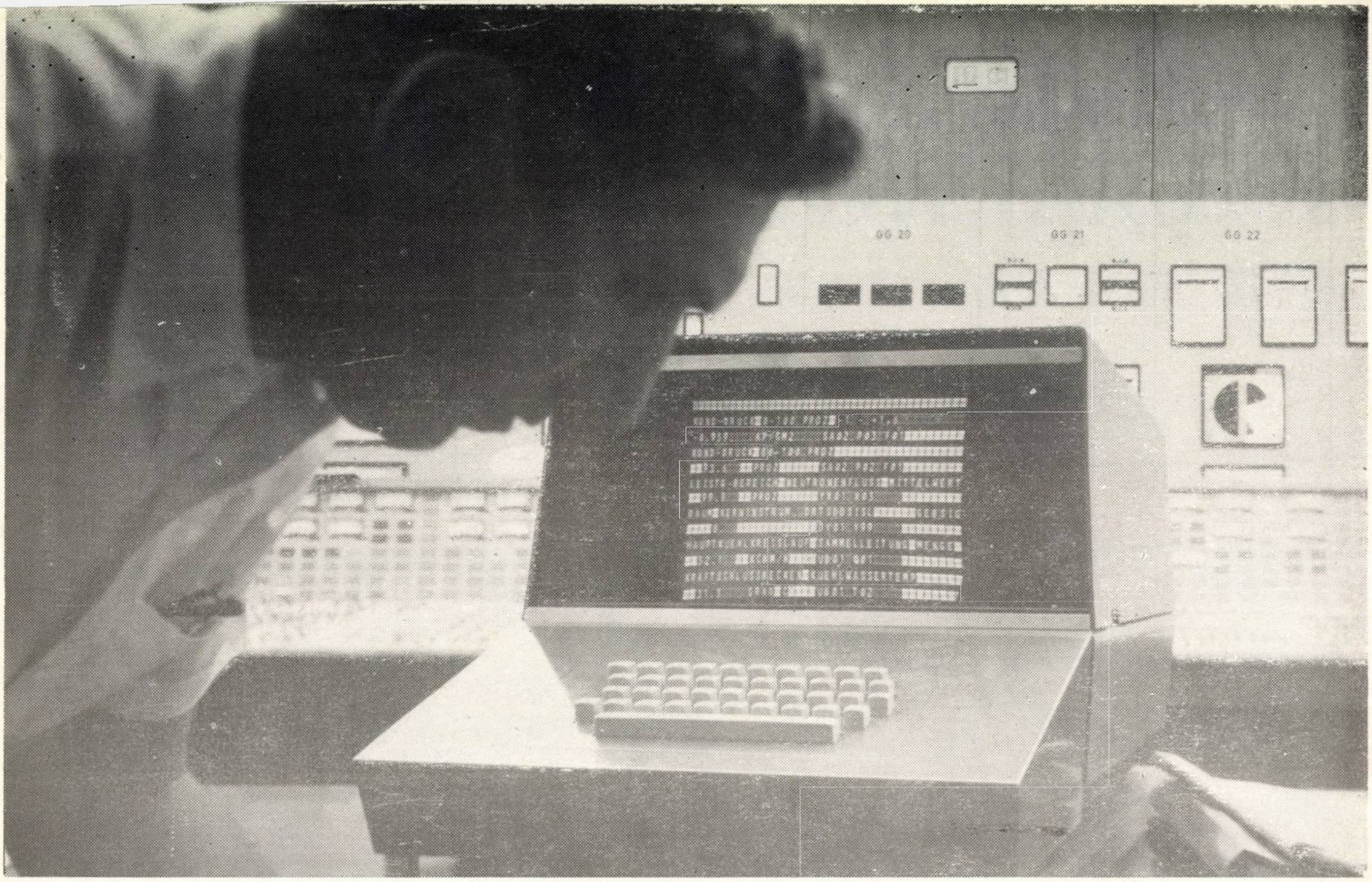
**RECENZII**

**INFORMAŢII TEHNICE**

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. univ. emerit ing. I. D. STĂNCESCU, redactor responsabil, ing G. IORGULESCU, redactor responsabil adjunct, conf. ing. I. A. BADEA, ing. ST. BERENGHI, conf. ing. A. COGĂLNICEANU, dr. ing. P. DIMO, membru corespondent al Academiei Republicii Socialiste România, laureat al Premiului de Stat, ing H. FURTUNESCU, ing. P. IFTIME, ing. L. LUCA, ing. B. MARCU, dr. ing. A. MĂCRIŞ, conf. ing C. MIHĂILEANU, prof. dr. ing. V. I. NIŢU, ing. A. SPÎNU, ing. R. ZANE

OFICIUL DE DOCUMENTARE ENERGETICĂ



O privire asupra camerei de comandă din centrala nuclearo-electrică, parţial automatizată, din Obrigheim: în spate, panoul şi pupitrul camerei de comandă (în execuţie compactă), în faţă blocul de vizualizare a datelor.

ELEKTRO 72 DE LA MOSCOVA

între 12 şi 26 iulie 1972

Toate datele cu privire la automatizările pentru centralele termoelectrice le puteţi afla la standul KWU din sala 5.

Kraftwerk Union Aktiengesell - schaft,Mülheim/Ruhr (KWU),a fost înfiinţată în 1969,de cele două întreprinderi electrotehnice mari din R.F.a Germaniei,Siemens şi AEG-Telefunken,şi aparţine grupului de constructori de centrale electrice cu pondere mare pe piaţa internaţională.In cadrul KWU activează la Mülheim, Berlin (occidental),Erlangen şi Frankfurt/Main,circa 9000 de colaboratori,din care 1000 ingi - neri proiectanţi.

KWU proiectează, livrează şi construieşte centrale termoelectrice de toate tipurile şi mărimile, centrale nuclearoelectrice cu reactoare cu apă sub presiune (PWR), cu apă în fierbere (BWR) şi cu apă grea (HWR), inclusiv turbine cu abur, turbine cu gaze şi turbogeneratoare, precum şi echipamentul mecanic pentru centralele termoelectrice. KWU acordă consultaţii în toate problemele legate de sectorul centralelor electrice.

KWU este asistat în activitatea sa de 10 agenţii în R.F.a Germaniei şi Berlinul occidental, precum şi de 60 de reprezentanţe în toate cele cinci continente.

In problemele de automatizări ale centralelor termoelectrice, KWU ocupă o poziţie internaţională de frunte. Dacă această problemă se află în centrul preocupărilor dv., vizitaţi standul nostru din sala 5 sau scrieţi-ne pe adresa :

Kraftwerk Union
Aktiengesellschaft
Vertriebsbereich
Frankfurt D-6000
Frankfurt/Main -70
Oskar-Sommer-
Strasse 15,
Republica Federală
a Germaniei

## СОДЕРЖАНИЕ


ДК 621.31.004.67

*Стойка, Г.:* **Двадцатилетие предприятия ,,Энергоремонт''**
Energetica 20 (1972), No. 6, стр. 223

ДК 621.31.004.67:658.512

*Сэфтою, Г.:* **Достижения и перспективы в деятельноста предприятия ,,Энергоремонт"**
Energetica 20 (1972), No. 6, стр. 226

ДК 516:62-755:62-253

*Истрате, И.:* **Использование свойств комплексных чисел в расчете уравновешивания роторов при номинальном числе оборотов**
Energetica 20 (1972), No. 6, стр. 230

ДК 621.165.004.67

*Катанкин, Ал.* и *Василеску, Н.:* **О решении пуска турбины 2 Яссы после аварии, перестройкой колеса регулирования**
Статья представляет оригинальный способ решения аварийного случая специалистами ,,Энергоремонта''
Energetica 20 (1972), No. 6, стр. 235

ДК 519.2:666:621.315.004.64

*Ковар, Е.:* **Увеличение надежности работы внутренних электрических сетей у химических комбинатов с непрерывным технологическим процессом**
Статья рассматривает некоторые частные аспекты снабжения электрической энергией установок химического комбината. Указывается значение непрерывности снабжения и описывается некоторые пути его обеспечения. Настаивают на способе и условиях осуществления АВР.
Energetica 20 (1972), No. 6, стр. 240

ДК 662.99:66.092

*Добринеску, Д.:* **Повышение возмещения теплоты из регенерационных газов катализаторов крекинга**
Статья представляет главные особенности отработанных газов, выпущенных из регенераторов катализатора установок каталитического крекинга, являющиеся значительным источником возмещения теплоты в нефтеперегоночных заводах. Критически изображены несколько характерных схем возмещения, принятых в странах, имеющих более развитую нефтеперерабатывающую промышленность и предлогается улучшенная схема возмещения теплоты из регенерационных газов катализаторов крекинга, приводя главные данные предварительного проекта, составленного на основе этой схемы.
Energetica 20 (1972), No. 6, стр. 255

ДК 621.311.23:681.3

*Кристеа, Х.* и *Брынзару, Г. И.:* **Графическое представление характерных изображений о поведении высокомощных агрегатов в одной станции**
Статья представляет поведение высокомощных объединенных генераторов, за которым можно следить синтетически и эффективно для решений, принятых при эксплуатации представлением на катодическом экране типовых изображений и величин в соотношении с устойчивостью и термическими пределами.

Energetica 20 (1972), No. 6, стр. 262

ДК 662.75
*Бэлан, В. Ф.:* **Удаление соединений ванадия и натрия в зонах высокой температуры при горении мазута с повышенным содержанием сульфа в ТЭС**
Представлены результаты испытаний, проведенных в одной ТЭС из СР Румынии в связи с применением дезактиватора для избежания отложений и коррозии в котле, вызвавшиеся горением сульфитного мазута. Сравниваются эти результаты с другими подобными, известными в литературе.

Energetica 20 (1972), No. 6, стр. 267


## INHALTSVERZEICHNIS


DK 621.31.004.67

*Stoica, Gh.:* **Zum zwanzigsten Jahrestag der Gründung des Unternehmens ,,Energoreparații''**
Energetica 20 (1972), H. 6, S. 223

DK 621.31.004.67:658.512

*Săfloiu, Gh:* **Erfolge und Zukunftsaufgabe der Unternehmung ,,Energoreparații''**
Energetica 20 (1972) H. 6, S. 226

DK 516:62-755:62-253

*Istrate, I.:* **Anwendung der Eigenschaften komplexer Zahlen bei Berechnung der Rotorauswuchtung bei Nenndrehzahl**
Energetica 20 (1972), H. 6, S. 230

DK 621.165.004.67

*Catanchin, Al.* und *Vasilescu, N.:* **Im Zusammenhang mit der Wiederinbetriebsetzung einer Turbine, durch Neuanfertigung eines Steuerrades**
Der Verfasser unternimmt es die originelle Weise darzustellen in der die Fachleute des Unternehmens ,,Energoreparații'' einen Turbinenschaden beseitigt haben.
Energetica 20 (1972), H. 6, S. 235

DK 519.2:666:621.315.004.64

*Covar, E.:* **Erhöhung der Betriebssicherheit elektrischer Netze in chemischen Grossbetrieben mit kontinuierlichen Produktionsprozessen**
Der Aufsatz befasst sich mit den Besonderheiten der Elektrizitätsversorgung von Anlagen eines chemischen Grossbetriebes. Mit Rücksicht auf die Bedeutung der dauernden Versorgung, werden die Wege zur Gewährleistung derselben beschrieben. Es werden weiterhin Verfahren und Bedingungen für den Einsatz von Einrichtungen zwecks automatischer Schnellwiedereinschaltung angeführt.
Energetica 20 (1972), H. 6, S. 240

DK 662.99:66.092

*Dobrinescu, D.:* **Vergrösserung der aus Regenerationsgasen von Krackkatalysatoren rückgewonnenen Wärmemengen**
Die wichtigsten Eigentümlichkeiten der aus Katalysatorregeneratoren von Krackanlagen ausgeschiedenen, eine bedeutende Wärmerückgewinnungsquelle in Erölraffinerien, bildenden Verbrennungsgasen werden dargestellt. Es werden einige charakteristische, in Ländern mit fortgeschrittenerer Erölverarbeitungsindustrie angewendeten Rückgewinnungsschaubilder kritisch beschrieben und ein verbessertes Schaubild für Wärmerückgewinnung aus den Regenerationsgasen der Krackkatalysatoren vorgeschlagen. In diesem Zusammenhang werden die wichtigsten Daten einer auf Grundlage dieses Schaubildes ausgearbeiteten Vorprojektes beschrieben.
Energetica 20 (1972), H. 6, S. 255

DK 621.311.23:681.3
*Cristea, H.* und *Brânzaru, G. I.:* **Graphische Darstellung charakteristischer Bilder über das Verhalten von Turbinensätzen grosser Leistung in einem Kraftwerk**
Die Verfasser erörtern das Verhalten von Generatoren grosser Leistung, welches synthetisch verfolgt werden kann und folglich die im Betrieb zu treffenden Entscheidungen wirkungsvoll vermittels Darstellung typischer Bilder auf einem kathodischen Schirm unterstützt. Die Grössenmasse der Bilder sind mit der thermischen Stabilität und deren Grenzwerten verbunden.
Energetica 20 (1972), H. 6, S 262

DK 662.75
*Bălan, V. F.:* **Beseitigung der Vanadium- und Natriumverbindungen aus den Zonen hoher Temperaturen bei Verbrennung von Heizöl mit hohem Schwefelgehalt in Kraftwerken**
Es werden die Ergebnisse mit einem Entaktivator in Kraftwerksanlagen vorgenommener Versuche zwecks Vermeidung von, infolge Verbrennung schwefelhaltigen Erdöls auftretenden Niederschlägen und Korrosionserscheinungen in Kesseln beschrieben. Die Ergebnisse werden mit den aus dem im Fachschrifttum enthaltenen verglichen.
Energetica 20 (1972), H. 6, S. 267

## SOMMAIRE

CD 621.31.004.67

*Stoica, Gh.* : **Vingt ans depuis la fondation de l'entreprise ,,Energoreparații''**

Energetica 20 (1972), no. 6, p. 223

---

CD 621.31.004.67 :658.512

*Săfloiu, Gh:* **Réalisations et perspectives dans l'activité de l'entreprise ,,Energoreparații',**

Energetica 20 (1972), no. 6 p. 226

---

CD 516 :62-755 :62-253

*Istrate, I.* : **L'utilisation des propriétés des nombres complexes dans le calcul de l'équilibrage des rotors à la vitesse nominale**

Energetica 20 (1972), no. 6, p. 230

---

CD 621.165.004.67

*Calanchin, Al.* et *Vasilescu, N.* : **Solution adoptée pour la remise en marche après l'avarie d'une turbine, par reconstruction de la roue de régulation**

L'article présente la manière originale dont les spécialistes de l'entreprise ,,Energoreparații" ont résolu l'avarie d'une turbine.

Energetica 20 (1972), no. 6, p. 235

---

CD 519.2 :666 :621.315.004.64

*Covar, E.* : **Augmentation de la fiabilité des réseaux électriques intérieurs dans les complexes chimiques avec processus de production continu**

Cet article s'occupe de quelques particularités de l'alimentation électrique des installations d'un complexe chimique. L'auteur souligne l'importance d'une alimentation continue et décrit différentes manières pour l'obtenir tout en insistant sur le mode et les conditions pour réaliser l'enclenchement automatique rapide.

Energetica 20 (1972), no. 6, p. 240

---

CD 662.99 :66.092

*Dobrinescu, D.* : **Augmentation de la récupération de la chaleur depuis les gaz de régénération des catalyseurs de cracking**

L'article présente les particularités principales des gaz brûlés évacués des régénérateurs de catalyseurs des installations de cracking catalytique qui forment une source importante de récupération de la chaleur dans les raffineries de pétrole. On décrit quelques schémas caractéristiques de récupération employés dans les pays avec une industrie pétrolière développée et on propose un schéma amélioré pour récupérer la chaleur depuis les gaz de régénération des catalyseurs du cracking. On indique de même les données principales pour un avant-projet étudié sur ce schéma.

Energetica 20 (1972), no. 6, p. 255

---

CD 621.311.23 :681.3

*Cristea, H.* et *Brânzaru, G. I.* : **Graphique des images caractéristiques du comportement des groupes de grande puissance dans une centrale**

L'article présente le comportement des alternateurs de grande puissance interconnectés, qui peut être suivi de manière synthétique et efficace pour les décisions à prendre durant l'exploitation, par la représentation sur un écran cathodique des images types et des grandeurs corrélées avec la stabilité et les limites thermiques.

Energetica 20 (1972), no. 6, p. 262

---

CD 662.75

*Bălan, V. F.* : **Comment éviter les composées de vanadium et de sodium dans les zones à température élevée quand on brûle du mazout à haute teneur en soufre dans les centrales**

Il s'agit des résultats d'essais effectués dans une centrale roumaine avec un désactivateur pour éviter les dépôts et les corrosions de la chaudière provoqués par la combustion de mazout à haute teneur en soufre. Ces résultats sont comparés avec d'autres publiés dans la littérature de spécialité.

Energetica 20 (1972), no. 6, p. 267

## CONTENTS

DC 621.31.004.67

*Stoica, Gh.* : **Twenty years since the foundation of the enterprise ,,Energoreparații''**

Energetica 20 (1972), no. 6, p. 223

---

DC 621.31.004.67.658.512

*Săfloiu, Gh:* **Achievments and prospects in the activity of the ,,Energoreparații" enterprise**

Energetica 20 (1970) no. 6, p, 226

---

DC 516 :62-755 :62-253

*Istrate, I.* : **Utilisation of the properties of complex numbers for the calculation of the balancing of rotors at rated speed**

Energetica 20 (1972), no. 6, p. 220

---

DC 621.165.004.67

*Calanchin, Al.* and *Vasilescu, N.* : **A solution applied to start again a turbine after failure**

The authors describe the original way (remaking of the governing wheel) in which the specialists from ,,Energoreparații'' have solved a case of failure.

Energetica 20 (1972), no. 6, p. 235

---

DC 519.2 :666 :621.315.004.64

*Covar, E.* : **Raising the operating safety of interior power networks at chemical combines with steady technological process**

This article considers some special aspects of the electric supply in a chemical combine. The author outlines the importance of a steady supply and describes some ways to obtain it while insisting on the means and conditions to carry out quick automatic reclosing operations.

Energetica 20 (1972), no. 6, p. 240

---

DC 662.99 :66.092

*Dobrinescu, D.* : **Increasing heat recovery from the regenerating gasses of cracking catalysers**

The author describes the main properties of flue gasses removed from the catalyser regenerators of catalytic cracking plants, which are an important source for heat recovery in oil refineries. He presents some recovery diagrams used by countries with a highly developed oil processing industry and proposes an improved diagram for the recovery of heat from the regenerating gasses of cracking catalysers accompanied by the main data of a draft made according to this diagram.

Energetica 20 (1972), no. 6, p. 255

---

DC 621.311.23 :681.3

*Cristea, H.* and *Brânzaru, G. I.* : **Graphic image showing the behaviour of high power machines in a power plant**

This article presents the behaviour of connected, high power generators, which can be accurately followed for decision-making purposes, by the showing-up on a cathodic screen of standard images and magnitudes correlated with stability and thermal boundaries.

Energetica 20 (1972), no. 6, p. 262

---

DC 622.75

*Bălan, V. F.* : **Removal of vanadium and sodium compounds from high temperature areas when burning fuel-oil with high sulphur content in power stations**

Here are the results of tests made in a Romanian power plant by using a de-activator to avoid deposits and corrosions in the boiler, provoked by the combustion of fuel-oil with high sulphur content. They are compared with similar results reported by litterature.

Energetica 20 (1972), no. 6. p. 267

# INAUGURAREA SISTEMULUI HIDROENERGETIC ȘI DE NAVIGAȚIE PORȚILE DE FIER

**Ziua de 16 mai 1972 va rămîne înscrisă în istoria energeticii românești cu litere de aur. Ea marchează data inaugurării oficiale a Sistemului hidroenergetic și de navigație Porțile de Fier, realizat prin fructuoasa colaborare a energeticienilor români și iugoslavi.**

**Importanța evenimentului a fost încununată de prezența la festivitățile prilejuite de inaugurare a celor doi șefi de state, tovarășii NICOLAE CEAUȘESCU, secretarul general al Partidului Comunist Român, președintele Consiliului de Stat al Republicii Socialiste România, și IOSIP BROZ TITO, președintele Uniunii Comuniștilor din Iugoslavia, președintele Republicii Socialiste Federative Iugoslavia.**

**După solemnul moment al dezvelirii plăcii comemorative, simultan de către cei doi șefi de state — placă pe care este încrustată, în memoria timpului, data inaugurării oficiale a Sistemului hidroenergetic și de navigație Porțile de Fier, — tovarășii NICOLAE CEAUȘESCU și IOSIP BROZ TITO au făcut o vizită în instalațiile de pe malul românesc. După ce au vizitat blocul de comandă al centralei — o clădire modernă, perfect integrată în ansamblul construcției, — au trecut apoi, prin galeria de acces, în clădirea centralei. Liftul de mare capacitate a transportat înalții oaspeți în sala hidroagregatelor. Aici, cei doi președinți sînt întîmpinați de directorul general al Intreprinderii centrala hidroelectrică Porțile de Fier — ing. Gr. Sandul — care raportează că din acel moment centrala produce la întreaga sa capacitate.**

**În timpul vizitei prin sala mașinilor, înalții oaspeți, însoțiți de ing. Octavian Groza, ministrul energiei electrice, s-au oprit mai mult în fața hidroagregatelor 4, 5 și 6 — operă a constructorilor români de echipament energetic. Sala mașinilor impresionează prin vastitatea ei, prin panourile decorative care o împodobesc. Toate detaliile vorbesc despre grija pentru om, despre minunata muncă a tuturor constructorilor.**

**Apoi, pe platoul amenajat în apropierea centralei românești a avut loc grandiosul miting al colaborării și prieteniei frățești dintre constructorii români și iugoslavi.**

**După ce tovarășul Traian Dudaș, prim-secretar al Comitetului județean Mehedinți al P. C. R., declară deschis mitingul, Gh. Sălăgean, Erou al Muncii Socialiste, și Panta Jakovljevic, directorul general al Centralei hidroelectrice Djerdap, au evocat munca plină de eroism a constructorilor români și iugoslavi de pe șantierul Porțile de Fier.**

Întîmpinat de aplauze îndelungi și urale repetate, a luat cuvîntul secretarul general al Partidului Comunist Român, președintele Consiliului de Stat al Republicii Socialiste România, tovarășul NICOLAE CEAUȘESCU, ca, printre altele, a arătat că :

„Inaugurarea complexului hidroenergetic și de navigație de la Porțile de Fier constituie un eveniment memorabil în istoria străvechilor și bogatelor relații româno-iugoslave, este, am putea spune, o adevărată sărbătoare a prieteniei dintre cele două țări".

„Înălțarea acestui grandios edificiu al energeticii moderne este o expresie elocventă a capacității tehnice a celor două țări ale noastre, a înaltei competențe, a spiritului de eroism în muncă al proiectanților, inginerilor, tehnicienilor și muncitorilor români și iugoslavi".

„Natura, apele au despărțit munții Balcani și Carpați ; a revenit popoarelor noastre ca, în epoca socialismului, să realizeze unirea Carpaților și a Balcanilor, ceea ce constituie un simbol al unității noastre".

Sînt cuvinte care reflectă veridic semnificația evenimentului petrecut la Porțile de Fier.

Tovarășul IOSIP BROZ TITO, președintele Uniunii Comuniștilor din Iugoslavia, președintele Republicii Socialiste Federative Iugoslavia, a subliniat, în cuvîntul său, importanța acestui obiectiv în contextul relațiilor de cooperare româno-iugoslave, glorificînd faptele excepționale ale constructorilor :

„Doresc, totodată, să dau o înaltă apreciere muncitorilor, tehnicienilor și inginerilor și celorlalți specialiști din România și Iugoslavia, care, prin eforturile lor excepționale și prin înalta lor pregătire, au reușit să realizeze acest măreț obiectiv și să-l dea în folosință înainte de termenul prevăzut. Aceasta este într-adevăr o faptă demnă de admirație. Este suficient doar să privim această mare operă, pentru a înțelege despre ce acțiune excepțională este vorba. Să îmblînzești forța Dunării, s-o pui în slujba omului n-a fost cîtuși de puțin un lucru ușor!".

Cuvintele de laudă, absolut meritate, ale celor doi șefi de state, au fost primite cu vie satisfacție și mulțumire de către miile de constructori. Distincțiile, ordinele și medaliile cu care au fost răsplătiți constructorii sînt recompensele închinate muncii lor minunate.

De aici, de la 16 mai 1972, începe o nouă etapă a Porților de Fier : etapa contribuției pe care cele două centrale ale sistemului o vor aduce în ansamblul sistemelor energetice naționale, etapa aportului pe care îl va avea energia electrică produsă la edificarea societății socialiste.

# 20 DE ANI DE LA ÎNFIINȚAREA ÎNTREPRINDERII „ENERGOREPARAȚII"

Ing. GH. STOICA,
adjunct al ministrului energiei electrice

*Întreprinderea „Energoreparații" sărbătorește anul acesta 20 de ani de activitate rodnică, desfășurată în cadrul sistemului energetic.*

*Două decenii de activitate reprezintă pentru orice întreprindere o etapă de maturizare, de împlinire sub toate aspectele a obiectivelor propuse, și acest lucru cu atît mai mult pentru o întreprindere ca „Energoreparații", unică atît prin profilul ei complex, cît și prin scopul ei, înființată și dezvoltată ca o consecință firească a nevoilor dezvoltării rapide a sistemului energetic, pe măsura înfăptuirii programului de electrificare a țării.*

*Cei 20 de ani de la înființare înseamnă afirmare, consacrare și acumulare de autoritate și competență.*

*Efortul continuu și ascendent al întreprinderii „Energoreparații" se integrează organic în efortul comun al tuturor întreprinderilor și centralelor industriale pentru realizarea producției de energie electrică și termică, prin utilizarea cît mai eficientă a resurselor energetice ale țării.*

*Politica partidului și statului nostru de industrializare socialistă a țării a impus dezvoltarea cu un pas înainte a sectorului de producere a energiei electrice față de celelalte sectoare.*

*Realizarea unui ritm înalt de dezvoltare concomitent cu asigurarea unei rentabilități maxime a necesitat instalarea în sector a unor agregate energetice de puteri unitare mari și parametri ridicați.*

*Gradul de tehnicitate ridicat al agregatelor energetice a impus asigurarea unui potențial tehnic deosebit pentru executarea pieselor de schimb și a reparațiilor la aceste agregate.*

*Aceste cerințe obiective au determinat ca M.E.E. să fie singurul organ central care și-a organizat o unitate economică industrială pentru executarea lucrărilor de reparații a agregatelor din dotare și pentru executarea pieselor de schimb necesare bunei funcționări a acestora.*

*Scopul înființării în anul 1952 a întreprinderii „Energoreparații" a fost deci reducerea importului pieselor de schimb pentru agregatele energetice, precum și perfecționarea pregătirii profesionale a cadrelor pentru a apela cît mai puțin la specialiștii firmelor furnizoare străine sub a căror asistență se executau atît remedierea unor deranjamente cît și lucrările de reparații curente sau capitale.*

*În cursul dezvoltării sale, întreprinderea „Energoreparații" și-a lărgit permanent profilul, primind sarcina de a executa în plus dispozitive și instalații pentru mecanizarea lucrărilor specifice sectorului energetic, a căror realizare de către sectorul construcțiilor de mașini nu se justifica, datorită cantităților relativ mici în care se cereau.*

*Astăzi, la 20 de ani de activitate putem afirma că întreprinderea „Energoreparații" a devenit o unitate puternică, capabilă să rezolve cu competență și în mod creator problemele încredințate.*

*Acest fapt este confirmat de prezența activă a specialiștilor din întreprinderea „Energoreparații" la rezolvarea unor probleme de mare răspundere privind funcționarea sigură și de durată a agregatelor energetice.*

*Aș aminti aici numai cîteva dintre aceste realizări mai importante.*

*Din domeniul reparațiilor :*

*— recondiționarea rotorului corpului de înaltă presiune de la turbina 2 CET Iași ;*

*— repunerea în funcțiune a turbogeneratorului 2 de 100 MW de la CET București-Sud ;*

*— înlocuirea unor bare în stratul inferior la înfășurarea statorică a turbogeneratorului 7 de 200 MW de la CET Borzești ;*

*— montarea barelor la turboagregatele 1—2—3 de la centrala hidroelectrică Porțile de Fier ;*

*— repaletarea turbinelor cu abur de puteri mari : PVK 150 MW de la CTE Paroşeni, VPT 50 MW de la CET Brazi şi Skoda 100 MW de la CET Craiova şi CTE Luduş ;*

*— îndreptarea rotoarelor turbinelor cu abur prin metoda relaxaţiei la VPT-50 CET Brazi.*

*Din domeniul pieselor de schimb :*

*— execuţia paletelor pentru aproape toate tipurile de turbine montate în ţară ;*

*— asimilarea şi îmbunătăţirea pieselor de uzură pentru gospodăriile de cărbune : blindaje—CET Işalniţa, piese mari pentru CET Mintia.*

*Din domeniul utilajelor de mecanizare :*

*— platformele de lucru la înălţime, dintre care PT-15 HM şi PT-12 HM, care se disting prin utilizarea unor soluţii tehnice originale de acţionare ;*

*— asimilarea unei game de dispozitive pentru mecanizarea lucrărilor de reparaţii din cadrul centralelor electrice, cum ar fi :*

*— dispozitiv pentru depresat cuple şi rulmenţi de 20 şi de 50 tf ;*
*— dispozitiv de alezat găuri la cuplele turbinelor cu abur ;*
*— dispozitive de rotit rotoare de turbină etc. ;*
*— remorci pentru transportat şi derulat tambure de cablu ;*
*— cleşti hidraulici de 8—25—50 tf etc.*

*An de an întreprinderea „Energoreparaţii" şi-a lărgit baza materială, ajungînd azi să rezolve cu competenţă şi la un nivel calitativ corespunzător o serie de probleme ridicate de funcţionarea centralelor electrice. În prezent ea dispune de şase unităţi, dintre care patru sînt situate în cadrul marilor centrale electrice, avînd ca principale sarcini executarea reparaţiilor utilajului energetic.*

*Recent a intrat în funcţiune o turnătorie modernă, dotată cu utilaje moderne şi cu un grad mare de mecanizare, în care se execută semifabricate turnate din fontă, oţel şi neferoase.*

*Alături de acestea, conducerea ministerului a aprobat în continuare un program vast de dezvoltare a întreprinderii „Energoreparaţii", care să satisfacă din ce în ce mai bine necesităţile mereu crescînde ale unei exploatări raţionale a agregatelor energetice.*

*Astăzi, cînd conducerea de partid şi de stat a stabilit sarcini deosebit de importante pentru funcţionarea sigură a sistemului energetic, este o datorie a fiecăruia dintre noi să înţelegem la justa valoare aceste sarcini şi să depunem toate eforturile pentru a răsplăti cum se cuvine grija şi eforturile pe care statul nostru le investeşte în ramura energiei electrice.*

*De aceea o unitate cu profilul pe care-l are „Energoreparaţii" va trebui să joace un rol mult mai activ în viaţa sectorului energetic, prin creşterea volumului de lucrări şi diversificarea serviciilor pe care le realizează pentru echipamentul energetic.*

*În viitor va trebui ca întreprinderea „Energoreparaţii" să se axeze în principal pe următoarele obiective :*

*— organizarea şi executarea centralizată a reparaţiilor planificate şi accidentale la agregatele energetice din centralele electrice ;*

*— elaborarea unor tehnologii moderne de reparaţii la agregatele energetice ;*

*— extinderea domeniului de reparaţii termomecanice, care să cuprindă toate instalaţiile energetice ;*

*— formarea unor specialişti pe probleme de reparaţii specifice sectorului energetic ;*

*— lărgirea sortimentelor de utilaje pentru mecanizarea lucrărilor în sectorul energetic ;*

*— extinderea sortimentelor de piese de schimb de calitate superioară, avînd în vedere necesitatea eliminării definitive de la import a acestui articol pe partea mecanică din centralele electrice ;*

*— asimilarea unor procedee tehnologice moderne pentru realizarea de piese de schimb importante ;*

*— asigurarea operativă a unei asistenţe tehnice calificate, în vederea depistării unor deficienţe la echipamentul mecanic şi stabilirea unor măsuri de prevenire (vibraţii, defectoscopie etc.) ;*

***— organizarea activității de proiectare, care să rezolve în mod centralizat probleme legate de proiectarea pieselor de schimb și de modernizarea agregatelor energetice pe partea termomecanică, în scopul măririi siguranței de funcționare a acestora;***

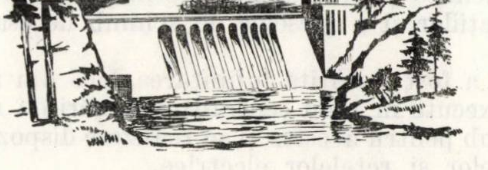
***— recepționarea calitativă a agregatelor energetice livrate sistemului energetic național de către diverși furnizori din țară și străinătate;***

***— generalizarea experienței pozitive realizate de specialiștii întreprinderii „Energoreparații" în cadrul sectorului.***

***Urmărind în perspectivă aceste linii directoare, se va putea asigura o durată mai mare de exploatare a agregatelor energetice între două reparații, se va contribui efectiv la reducerea perioadelor de indisponibilitate și în acest fel întreprinderea își va aduce aportul la realizarea unui nivel al producției de energie electrică din ce în ce mai mare, condiție necesară dezvoltării multilaterale a patriei noastre.***

***Întreprinderea „Energoreparații", prin lucrările executate și prin operativitatea cu care răspunde la solicitările unităților din sector, și-a cîștigat un meritat prestigiu, care trebuie în continuare susținut și dezvoltat.***

***Conducerea Ministerului Energiei Electrice apreciază în mod deosebit eforturile depuse de colectivul întreprinderii „Energoreparații" la introducerea progresului tehnic în sistemul energetic, felicită călduros întregul personal cu prilejul a 20 de ani de activitate a întreprinderii și urează noi succese în activitatea ce o desfășoară pentru ridicarea calitativă a funcționării instalațiilor energetice.***



# REALIZĂRI ȘI PERSPECTIVE ÎN ACTIVITATEA ÎNTREPRINDERII „ENERGOREPARAȚII"

Ing. GHEORGHE SĂFTOIU
director tehnic—CIPEET

Mobilizat puternic în realizarea întocmai a Directivelor Congresului al X-lea al P.C.R., colectivul întreprinderii „Energoreparații" se prezintă, la împlinirea a 20 de ani de activitate, cu rezultate deosebite în acțiunea de asigurare cu energie electrică și termică a industriei țării.

Nu putem, cu acest prilej deosebit, să nu reflectăm asupra contribuției ce a avut-o în introducerea progresului tehnic în sistemul energetic și să nu încercăm, pe baza directivelor de dezvoltare a industriei energetice, să arătăm realizările și succesele și să schițăm liniile directoare de perspectivă cu privire la rolul ce trebuie să-l joace.

Înființarea întreprinderii „Energoreparații", după cum se știe, a constituit unul dintre obiectivele planului de electrificare de 10 ani, generat de necesitatea de funcționare sigură a tuturor agregatelor energetice la puterea nominală.

Evoluția, de la începuturile timide, cînd preocupările se axau doar pe reparațiile unor agregate din centrale, în special motoare Diesel, și pe execuția unui volum redus de piese de schimb necesare acestor agregate, la situația de astăzi, cînd volumul producției a crescut față de planul anului 1952, iar activitățile au fost mult diversificate, demonstrează că drumul parcurs de colectivul de ingineri, tehnicieni și muncitori ai întreprinderii a fost mereu ascendent, contribuind în felul acesta la funcționarea sigură și economică a instalațiilor energetice.

Am fost conștienți de dificultățile traducerii în viață a răspunderilor ce ni le-am asumat, însă ne-am străduit să răspundem an de an, din ce în ce mai bine, pentru a fi la înălțimea rezultatelor ce se așteptau de la noi.

Asigurarea unui ritm înalt de dezvoltare a sectorului energetic în condiții de rentabilitate maximă a impus instalarea în centralele electrice a unor agregate energetice de puteri unitare mari și parametri de funcționare ridicați.

Instalațiile energetice montate fiind în marea lor majoritate importate din diverse țări, cu un grad de tehnicitate foarte ridicat, pretind asigurarea unui potențial tehnic deosebit pentru executarea reparațiilor și a pieselor de schimb necesare în condiții de productivitate cît mai ridicată.

În acest context a fost hotărîtă înființarea încă din anul 1952 a unei întreprinderi cu profil complex, care să execute în mod centralizat lucrări de reparații a agregatelor energetice din dotare, piese de schimb pentru acestea și să realizeze dispozitivele pentru mecanizarea lucrărilor din cadrul centralelor și rețelelor electrice.

Fiind singura întreprindere din țară cu acest profil, s-a impus pe parcurs și execuția unor reparații complexe la agregatele energetice aparținînd celorlalte sectoare, în special a agregatelor montate în instalațiile industriale cu pondere mare în economia națională (combinate chimice, rafinării, fabrici de zahăr).

În cursul dezvoltării sale, întreprinderea „Energoreparații" și-a lărgit permanent profilul, primind sarcini suplimentare pentru :

— execuția unei game din ce în ce mai largi de instalații pentru mecanizarea lucrărilor specifice sectorului energetic ;

— execuția reparațiilor turbinelor hidro ;

— asistența tehnică specială privind lucrările cu profil mecano-metalurgic din sector, ca : vibrații agregate, vibrații palete, analize defectoscopice, metalografice etc.

Activitatea întreprinderii se desfășoară în prezent în următoarele sectoare de producție, organizate după specificul lucrărilor ce le execută :

— Sectorul de proiectare-dezvoltare, care asigură proiectarea în perspectivă a tuturor activităților întreprinderii și în același timp întocmește documentația de execuție și tehnologică a producției întreprinderii. Pe lîngă aceste sarcini, prin serviciile pe care le are, acest sector realizează pregătirea tehnică a fabricației.

— Sectorul de producție de piese de schimb și produse și instalații de mecanizare a lucrărilor din cadrul centralelor și rețelelor electrice ale țării, care își bazează producția pe activitatea a două compartimente distincte, adică prelucrările la cald și la rece.

Compartimentul de producţie la cald este dotat cu o turnătorie modernă de fontă superioară şi oţeluri aliate, cu turnătorie de neferoase, cu ateliere de forjă şi de tratamente termice, în acest mod fiind capabil să elaboreze o gamă foarte largă de aliaje pentru piesele de schimb cele mai diverse.

Compartimentul de prelucrări mecanice este format din secţii de producţie, profilate pe mecanică grea, mijlocie şi uşoară, menit să execute piesele de schimb necesare instalaţiilor energetice, precum şi dispozitivele de autodotare.

— Sectorul de reparaţii ale agregatelor şi instalaţiilor energetice, compus din compartimentul reparaţiilor mecanice, turbine termo, cazane, turibne hidro, motoare Diesel, compresoare şi pompe, şi compartimentul reparaţiilor electrice — generatoare şi motoare electrice de putere mare, cu ajutorul cărora se urmăreşte a se acoperi,dezvoltîndu-se în perspectivă, întreaga arie de lucrări impuse de menţinerea în funcţionare, în condiţii de siguranţă şi economicitate ridicată, a instalaţiilor energetice ale ţării.

Deşi prin hotărîrea de înfiinţare, întreprinderea era creată cu scopul de a executa piese de schimb pentru agregatele şi instalaţiile energetice, eliminînd treptat importul acestora, cît şi pentru a executa reparaţii la aceleaşi agregate funcţionînd în cadrul M.E.E. sau în sectorul industrial, totuşi dezvoltarea pînă în anul 1970 a întreprinderii nu s-a menţinut în pas cu dezvoltarea sectorului energetic. Acest lucru s-a realizat numai prin STE de dezvoltare în perspectivă a întreprinderii aflat în prezent în curs de realizare.

În decursul activităţii sale prin specialiştii ce şi i-a format, întreprinderea a reuşit să rezolve probleme de tehnicitate ridicată, solicitate de agregatele montate în această perioadă în centrale.

Gama lucrărilor executate (piese de schimb şi produse) s-a lărgit de la an la an. Spre exemplu, s-a reuşit ca, de la paletele mici de tip laminat pentru turbine de 1—5 MW, să se realizeze palete mari, de 5—600 mm lungime, pentru ultimele rînduri ale turbinelor de 50 MW ; s-au executat toate tipurile de labirinţi de etanşare din oţel inoxidabil, piese pentru ventilele de admisie şi reglaj din oţeluri aliate nitrurate, sau avînd depuneri de metal dur, piese mari pentru turbine hidraulice, pentru pompe, mori de cărbune etc.

În ceea ce priveşte dispozitivele de mecanizare folosite în cadrul sectoarelor de montaj, producţie şi distrivuţie din sectorul energetic, pînă în prezent au fost proiectate şi asimilate în procesul de producţie o gamă largă de mecanisme, asimilarea şi diversificarea acestora făcîndu-se în urma consultărilor cu unităţile de exploatare.

Pe linie de reparaţii, personalul specializat a intervenit la executarea de reparaţii şi de lichidare a unor avarii. Datorită uzurii pronunţate a unor agregate sau a materialelor necorespunzătoare alese de proiectanţi, au apărut o serie de avarii grave la agregatele energetice, care au solicitat intervenţia specialiştilor întreprinderii „Energoreparaţii". Problemele deosebite ridicate de aceste avarii au fost cele de îndreptare a arborilor de turbină încovoiaţi, refacerea pistoanelor de echilibrare, refacerea carcaselor şi repaletări parţiale sau totale.

Pentru îndreptarea rotoarelor s-a introdus metoda încălzirii locale a rotoarelor în zonele cu săgeată maximă şi tratament termic de detensionare. Cu această metodă s-au obţinut rezultate spectaculoase la îndreptarea rotoarelor turbinelor cu abur tip AEG de 2 MW de la „Nitroamonia" — Făgăraş, tip Escher Weiss de 6 MW de la Uzina electrică Cîmpina, tip Siemens-Schuckert de 12 MW de la Uzina electrică Tîrnăveni şi 4,6 MW de la Fabrica de hîrtie Buşteni.

Refacerea pistonului de echilibrare prin strunjirea sau înlocuirea acestuia a fost realizată la foarte multe turbine cu abur,cele mai interesante lucrări în acest sens fiind turbinele cu abur tip Siemens-Schuckert de 12 MW de la Uzina electrică Tîrnăveni, tip Brown Boweri de 12 MW de la Uzina electrică Grozăveşti, de 6 MW din Uzina electrică Cîmpina,de 5 MW din Uzina electrică Galaţi, 2 MW din aceeaşi uzină sau, la turbinele tip Lang BBC de 6 MW din Uzina electrică Gura-Barza şi 1,5 MW la Uzina electrică Oradea.

Refacerea carcaselor s-a executat fie prin sudarea acestora, în cazul carcaselor deteriorate, în avarii, fie prin modificarea lor interioară, prin strunjire.

Datorită ruperilor de palete apărute, uzurii lor pronunţate sau funcţionării în rezonanţă, s-au făcut o serie de repaletări totale sau parţiale, care pînă la acea dată erau executate de specialişti străini. Repaletări s-au executat la majoritatea turbinelor cu abur din economia naţională, printre cele mai importante putînd fi exemplificate lucrările de la turbinele cu abur tip Brown Boveri de 12 MW din Uzina electrică Grozăveşti,de 5 MW din Uzina electrică Vulcan, de 3,2 MW din Uzina electrică Brăila, tip Siemens-Schuckert de 12 MW din Uzina electrică Tîrnăveni şi tip AEG de 12 MW din Uzina electrică Vulcan.

Paralel cu activitatea de reparaţie a agregatelor vechi, s-au asimilat cunoştinţele necesare pentru execuţia reparaţiilor la agregatele noi, pe care ţara noastră le-a contractat în perioada respectivă. Pentru ca sectorul de reparaţii să facă faţă solicitărilor din ce în ce mai mari din

punctul de vedere al cantității de cunoștințe necesare pentru o gamă atît de variată de agregate și pentru complexitatea din ce în ce mai mare a acestora, și-a pregătit o serie de cadre de specialiști. În acest scop, a încadrat ingineri în secțiile de reparații, care au participat efectiv la lucrările de reparații, completîndu-și în acest fel cunoștințele teoretice cu problemele practice tehnologice și de execuție a reparațiilor. Cu această ocazie s-a imprimat o nouă linie în activitatea de reparații a întreprinderii, inginerii respectivi reușind să organizeze reparațiile agregatelor energetice după metodele moderne de organizare.

Pe lîngă reparațiile planificate ale agregatelor de puteri mari, de 25—330 MW, din centralele electrice Borzești, Galați, Paroșeni, Deva, Craiova, întreprinderea „Energoreparații" a executat majoritatea lichidărilor de avarii în sistemul energetic național, fie prin executarea lucrărilor de reparații impuse de natura avariei, fie prin acordarea asistenței tehnice solicitate de întreprinderile beneficiare.

Printre cele mai reprezentative lucrări de reparații executate la agregatele mari sînt cele de îndreptare a arborilor.

Pentru realizarea acestor lucrări, care se deosebesc fundamental ca importanță și complexitate de îndreptarea arborilor la turbine de putere mică — datorită conținutului înalt de elemente de aliere care ridică curbele caracteristice ale materialului —, s-au aplicat metode noi de îndreptare, ca cea a relaxației, folosindu-se pentru încălzirea rotoarelor bobine de inducție. Dintre îndreptările executate de „Energoreparații" le menționăm pe cele efectuate la rotoarele de înaltă presiune ale turbinelor tip VPT-50 fabricație LMZ de la CET Brazi și tip Skoda de 100 MW de la CTE Luduș.

S-a executat majoritatea repaletărilor turbinelor cu abur de puteri mari, cu palete confecționate de întreprinderea noastră sau de către firmele constructoare.

Problemele din ce în ce mai complexe apărute în sectorul de reparații și necesitatea de a se introduce tehnologii înaintate de reparații, dotarea sectorului de reparații cu mașini și dispozitive care să mărească randamentul reparațiilor agregatelor energetice au dus la crearea unor servicii noi pentru deservirea activității de reparație a întreprinderii. Astfel au fost create serviciile: „Vibrații" și „Tehnolog II".

Serviciul „Vibrații", dotat cu utilaje moderne, a executat măsurători de vibrații periodice la toate agregatele din sistemul energetic național, dînd soluții pentru înlăturarea cauzelor vibrațiilor mărite. În laboratorul acestui serviciu, cu ajutorul mașinii „Turbo 4", se execută încercări la oboseală la palete, elaborîndu-se soluții de schimbare a tipului de încastrare pentru paletele la care numărul de cicluri este sub limitele normale.

Se execută măsurători de vibrații la palete, stabilindu-se soluții pentru modificarea constructivă, prin schimbarea diametrului sîrmei, a diametrului primitiv, a naturii sîrmei (consolidare, amortizare) la paletele care lucrează în rezonanță.

Una dintre preocupările noi ale serviciului este echilibrarea rotoarelor. Prin introducerea metodei de echilibrare în trei puncte s-a redus considerabil timpul de echilibrare, obținîndu-se valori de dezechilibru finale sub limitele acceptabile.

De asemenea s-a introdus metoda echilibrării la turație nominală a ansamblurilor de rotoare cu ajutorul generatorului de fază. Introducerea metodei a permis ca înlăturarea dezechilibrelor la agregatele energetice să se realizeze fără demontarea agregatelor.

Eficiența economică nu poate fi exprimată numai în indicatorii proprii ai întreprinderii, deoarece, prin activitatea desfășurată, ea contribuie efectiv la creșterea productivității muncii în sectorul energetic (scurtarea timpului de imobilizare a grupurilor în reparații, soluții tehnice pentru remedierea unor defecțiuni etc.).

Dezvoltarea sectorului energetic prin dublarea puterii instalate în actualul plan cincinal conduce la creșterea substanțială a necesarului de piese de schimb și de dispozitive de mecanizare. Astfel se estimează că volumul de lucrări necesare beneficiarilor din cadrul M.E.E. va crește în 1975 de aproape 4 ori față de cît realizează întreprinderea în acest an.

Pentru satisfacerea în condiții superioare a cererilor de piese de schimb necesare sectorului energetic, precum și a necesarului de dispozitive de mecanizare a lucrărilor din sector, din anul 1969 a început realizarea dezvoltării întreprinderii pe amplasamentul platformei energetice București-Sud.

În conformitate cu studiul tehnico-economic întocmit pentru dezvoltarea întreprinderii, urmează ca aceasta să se realizeze în trei etape, după cum urmează:

| Etapa | Anul punerii în funcțiune | Valoarea investiției, mii lei | Valoarea producției globale, mii lei |
|---|---|---|---|
| I | 1972 | 100 000 | 100 000 |
| II | 1973 | 70 000 | 154 000 |
| III | 1976 | 70 000 | 240 000 |

Întrucît dezvoltarea inițială nu asigură acoperirea necesarului de lucrări în conformitate cu studiile efectuate în cursul anului 1970 de către întreprinderea „Energoreparații", conducerea Ministerului Energiei Electrice a hotărît crearea unei filiale a întreprinderii la Porțile de Fier, în zona Gura Văii, pe amplasamentul depozitelor centrale de echipament construite în cadrul organizării de șantier a Sistemului hidroenergetic și de navigație Porțile de Fier.

Corespunzător etapei I de dezvoltare a întreprinderii vor crește capacitățile de producție pentru execuția pieselor de schimb, se va mări gradul de integrare al întreprinderii, prin dezvoltarea sectorului de prelucrare la cald (turnătorie de fontă și oțel, tratament termic primar și secundar, forjă etc.), precum și capacitatea de producție a secției reparații electrice.

Conform studiilor efectuate, capacitatea de producție la finele etapei II va asigura realizarea unei producții de 2 750 t piese de schimb și produse de mecanizare, precum și a unui volum de 670 000 ore reparații la agregatele energetice.

Ca structură a producției, considerăm că se va putea asigura execuția aproape în totalitate a pieselor de schimb, inclusiv a celor din oțeluri aliate speciale, rămînînd a se procura din import eventualele piese sau subansambluri pentru a căror execuție sînt necesare utilaje ce nu sînt prevăzute în dotarea întreprinderii pentru această etapă. De asemenea, se va dezvolta producția de utilaje și dispozitive de mecanizare necesare atît sectorului de producție a energiei electrice cît și celui de distribuție și montaj.

În 1972, an în care se împlinesc 20 de ani de la înființarea întreprinderii „Energoreparații", activitatea sectorului de reparații s-a extins considerabil prin crearea, pe baza unor studii, a unităților zonale de reparații, care au preluat reparațiile planificate de la întreprinderile de centrale electrice.

Pentru ca unitățile zonale să-și realizeze scopul propus — realizarea unor reparații de calitate și în termene cît mai scurte — întreprinderea „Energoreparații" își propune ca prin specialiștii săi să contribuie la perfecționarea personalului executant din unitățile zonale de reparații și la introducerea metodelor moderne de organizare și a tehnologiilor înaintate de reparații, în aceste unități.

Desigur, cele expuse mai sus nu constituie decît cîteva direcții de dezvoltare a întreprinderii în viitor, ceea ce impune ca colectivul să urmărească îndeaproape problemele majore pe care le ridică funcționarea sigură și economică a agregatelor energetice.

Realizările întreprinderii „Energoreparații" din primele două decenii se înscriu pe coordonatele unei concepții unitare de rezolvare, la un nivel calitativ corespunzător cerințelor noi care se pun astăzi.

De aceea, deși cu realizările de prestigiu de pînă acum ne mîndrim, considerăm însă că ele nu reprezintă un scop în sine, ci le privim ca pe un indicator al muncii colectivului „Energoreparații", ancorată cu necesitate în modernitatea epocii ce o trăim în spiritul Directivelor Congresului al X-lea al Partidului Comunist Român.

Sîntem conștienți de sarcinile ce revin întreprinderii „Energoreparații", sarcini pe care colectivul de ingineri, tehnicieni și muncitori le privesc cu mîndrie mobilizatoare, dar și seriozitate și modestie. Întreprinderea „Energoreparații" nu consideră sarcina sa decît ca o parte organică și strîns împletită cu cea a tuturor unităților sistemului nostru energetic,contribuind în egală măsură la realitatea energeticii românești moderne — cărămidă, la rîndul ei, a edificiului construirii unei vieți mai bune a poporului nostru, linie promovată consecvent de partid și de stat, sub conducerea secretarului său general, tovarășul Nicolae Ceaușescu.

Împletirea se manifestă nu numai pe calea colaborărilor de conținut, ci și pe calea unor participări personale în echipe mixte la rezolvarea unor probleme specifice activității „Energoreparații".

Tot mai des, tot mai substanțial apar în lucrările „Energoreparații" de pe teren echipe mixte de ingineri și tehnicieni din „Energoreparații", din exploatare, din alte instituții de cercetări, din învățămînt.

Față de noile sarcini stabilite de conducerea de partid și de stat lucrătorilor din ramura energiei electrice, colectivul întreprinderii „Energoreparații" se mobilizează să contribuie într-o măsură din ce în ce mai mare la funcționarea sigură și economică a instalațiilor energetice.

# Utilizarea proprietăţilor numerelor complexe la calculul echilibrării rotoarelor la turaţie nominală

Ing. I. Istrate*)

Deşi la punerea în funcţiune a turboagregatelor, rotoarele acestora sînt, în general, bine echilibrate, după o anumită perioadă de funcţionare amplitudinile oscilaţiilor cresc. Dacă creşterea vibraţiilor este o cauză a dezechilibrului, se impune refacerea echilibrării.

Ţinînd seamă de faptul că demontarea, transportul la maşina de echilibrat şi montarea fac să se piardă mult timp, este recomandabil ca echilibrarea rotorului să se efectueze, pe cît posibil, în carcasa proprie, scurtîndu-se timpul de punere în funcţiune a agregatului. Turaţia la care trebuie să se facă echilibrarea este turaţia nominală; în unele cazuri se ajunge la un compromis, dacă se constată că la altă turaţie, apropiată de turaţia critică, apar oscilaţii puternice.

Dacă rotorul se secţionează imaginar într-o infinitate de discuri şi se determină pentru fiecare disc centrul de greutate, se va constata că prin unirea acestor centre se obţine o curbă în spaţiu, situată la distanţe şi pe direcţii radiale diferite de axa de rotaţie. În cazul rotorului elastic, momentele forţelor centrifuge ale fiecărui centru de greutate luat separat pot fi atît de mari, încît provoacă încovoieri ale rotorului. Aceste momente se numesc momente interioare; ele schimbă distribuţia maselor şi a forţelor centrifuge iniţiale.

Deoarece forţele centrifuge şi, implicit, încovoierile rotorului sînt funcţie de turaţie, este posibil ca la turaţii diferite să apară deplasări diferite ale maselor. În aceste condiţii pot exista situaţii în care corpul este echilibrat la o singură turaţie, pentru că practic nu este posibil să se echilibreze toate centrele de greutate ce descriu curba spaţială.

Un corp este considerat echilibrat atunci cînd axa lui de rotaţie coincide cu axa principală de inerţie. În caz contrar, lagărele corpului sînt supuse şi la solicitări dinamice, ale căror valori sînt funcţie de mărimea dezechilibrului. De obicei, lagărele unui corp care vibrează au vibraţii diferite. Aceste vibraţii sînt datorate dezechilibrului rotorului sau altor cauze. Dezechilibrul unui rotor este pus în evidenţă cu ajutorul analizei vibraţiilor; în această situaţie, legea de oscilaţie a lagărelor poate fi exprimată printr-o funcţie sinusoidală (1):

$$x = x_0 \sin(\omega t + \varphi), \qquad (1)$$

*) Ion Istrate este inginer-şef la întreprinderea „Energoreparaţii" – Bucureşti.

unde $x_0$ este amplitudinea simplă a vibraţiei măsurată pe lagăr (fig. 1).

La turaţia nominală, dezechilibrul rotorului este generalizat (dezechilibrul static şi dezechilibrul dinamic). Separarea acestor dezechilibre este posibilă numai la turaţiile critice joase corespunzătoare; la turaţia critică statică se obţine dezechilibrul static, iar la turaţia critică dinamică (aproximativ de două ori turaţia critică statică) se obţine dezechilibrul dinamic.

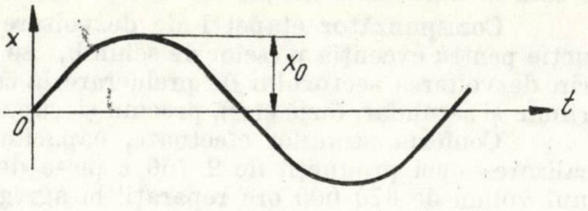



Fig. 1.

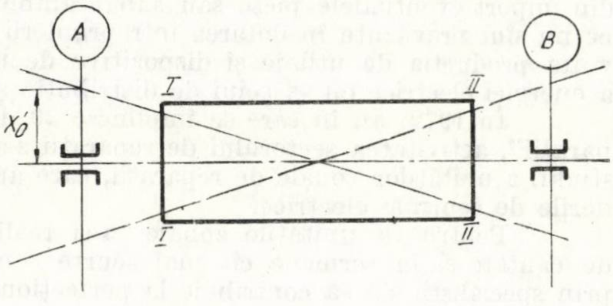



Fig. 2

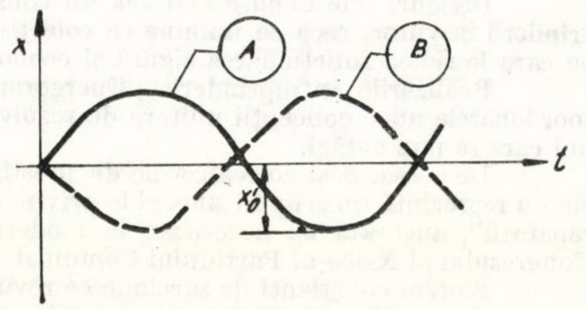



Fig. 3

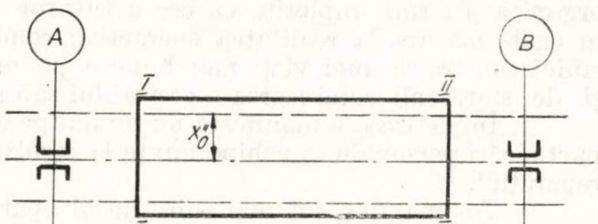



Fig. 4

În cazul unui dezechilibru dinamic, rotorul este supus unui cuplu şi, în timpul vibraţiei, axa momentului de inerţie taie axa geometrică a corpului în centrul său de oscilaţie (fig. 2).

Vibraţia fiecărui lagăr este reprezentată în figura 3.

Dacă rotorul este supus unui dezechilibru static, la turaţia critică statică vibraţiile sînt maxime şi axa momentului de inerţie este paralelă cu axa geometrică a corpului (fig. 4). În această situaţie vibraţiile lagărelor $A$ şi $B$ vor fi în aceeaşi fază (fig. 5).

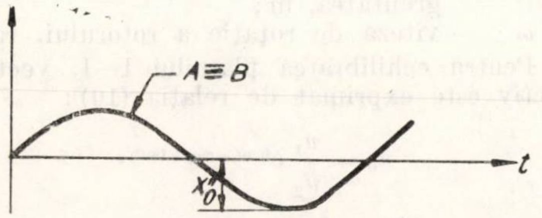



Fig. 5

La turaţia nominală cele două dezechilibre se compun şi mută centrul de oscilaţie al corpului. Poziţionarea acestuia este funcţie de unghiul de fază dintre cele două dezechilibre, precum şi de amplitudinile acestora. Dacă se consideră că vibraţia fiecărui dezechilibru poate fi reprezentată ca în figurile 3 şi 5, atunci dezechilibrul total va muta centrul de oscilaţie către lagărul $B$ şi, în consecinţă, lagărul $A$ va vibra mai puternic. Dacă curba din figura 5 va fi răsturnată (decalată cu 180°), centrul de oscilaţie va fi deplasat către lagărul $A$ şi vibraţia puternică se va constata la lagărul $B$. În ambele cazuri se poate efectua o corecţie a dezechilibrului într-un singur plan (în planul cu vibraţia cea mai puternică). Dacă influenţa cea mai mare o are dezechilibrul static, operaţia de echilibrare se efectuează cu suficientă precizie; dacă va predomina dezechilibrul dinamic, în urma corecţiei dezechilibrului, aplicată la capătul care vibrează mai puternic, se va constata o înrăutăţire a vibraţiilor la lagărul care vibrează mai puţin. În situaţia în care la turaţia nominală ambele lagăre vor vibra aproximativ egal, nu se poate şti dacă vibraţia este rezultatul unui dezechilibru static sau al unui dezechilibru dinamic. Acest aspect al problemei impune echilibrarea simultană a rotorului în două plane frontale (acolo unde se pot fixa greutăţile pentru echilibrare), deoarece vibraţiile existente în cele două lagăre sînt funcţie de natura dezechilibrului.

Vibraţia fiecărui lagăr are o amplitudine şi un unghi de fază exprimate prin relaţiile (2) şi (3)

$$A = A_0 \sin(\omega t + \varphi_{A_0}) \qquad (2)$$

$$B = B_0 \sin(\omega t + \varphi_{B_0}) \qquad (3)$$

Aceste relaţii sînt expresiile unor vectori iniţiali. Prin fixarea unei greutăţi pe unul din planele frontale ale rotorului, se vor modifica amplitudinile vibraţiilor, precum şi unghiul de fază iniţială (pe ambele lagăre), obţinîndu-se o altă pereche de vectori, cu altă mărime şi altă direcţie. Dacă această greutate este mutată în cel de-al doilea plan frontal, vectorii vibraţiilor lagărelor vor avea alte mărimi şi direcţii. Vectorii obţinuţi prin fixarea greutăţii în cele două plane frontale sînt nişte rezultante formate din vectorii iniţiali ($A_0$ şi $B_0$) şi vectorii corespunzători influenţei pe care o are greutatea fixată asupra dezechilibrului iniţial. Aceşti vectori de influenţă se determină după regula paralelogramului, cunoscîndu-se poziţiile vectorilor iniţiali şi rezultanţi din cele două lagăre. Ei se obţin astfel:

— cu ajutorul unui generator de fază şi al unui traductor de vibraţii se măsoară pentru fiecare lagăr unghiul de fază iniţial ($\varphi_{A_0}$, $\varphi_{B_0}$), precum şi mărimile dezechilibrelor iniţiale ($A_0$, $B_0$);

— se opreşte agregatul şi în planul I—I se fixează o greutate de probă la un unghi $\delta_A = \varphi_{A_0} + (45 \div 90°)$ şi se porneşte agregatul; la turaţia nominală se măsoară unghiurile de fază ($\varphi_{A_1}$, $\varphi_{B_1}$) şi mărimile dezechilibrelor rezultante ($A_1$, $B_1$);

— se opreşte agregatul şi se mută greutatea din planul I—I în planul II—II (fig. 2), la un unghi $\delta_B = \varphi_{B_0} + (45 \div 90°)$. Se porneşte agregatul şi la turaţia nominală se măsoară unghiurile de fază ($\varphi_{A_2}$, $\varphi_{B_2}$) şi mărimile dezechilibrelor rezultante ($A_2$, $B_2$);

— se trasează un sistem de axe rectangulare şi în sensul trigonometric se poziţionează, la aceeaşi scară, vectorii $A_0$, $A_1$, $A_2$ şi vectorii $B_0$, $B_1$, $B_2$, obţinîndu-se vectorii de influenţă $\alpha_1$, $\alpha_2$, $\beta_1$, $\beta_2$ (fig. 6).

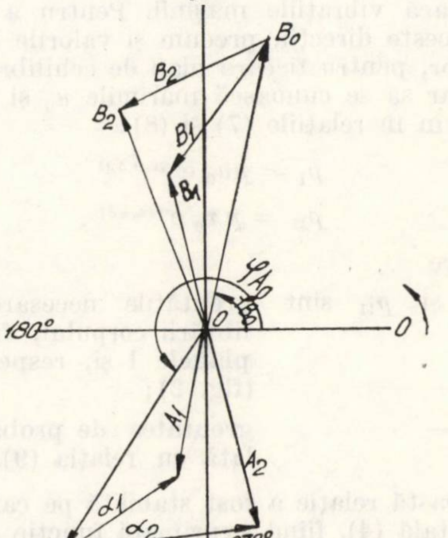



Fig. 6

Calculele grafo-analitice, necesare stabilirii influenţelor reciproce ale dezechilibrelor, sînt destul de laborioase. Operaţiile cu produse sau

cu rapoarte formate din mărimile vectorilor de influență și din mărimile celorlalți vectori pot fi sensibil ușurate dacă se utilizează proprietățile numerelor complexe.

Un vector este determinat dacă se cunosc: mărimea, sensul și punctul de aplicație. Toate aceste proprietăți pot fi exprimate de un număr complex de formă trigonometrică (4):

$$z = r(\cos\varphi + i\sin\varphi) = r\,e^{i\varphi} \tag{4}$$

Pentru exemplificare, numărul complex al vectorului $A_0$ este:

$$Z_{A_0} = \overline{OA_0}\,e^{i\varphi_{A_0}},$$

în care

$Z_{A_0}$ reprezintă imaginea numărului complex;

$r$ — modulul (în cazul vectorului $A_0$, $r$ reprezintă mărimea acestuia);

$\varphi_{A_0}$ — unghiul format între punctul de reper și direcția modulului $OA_0$ (fig. 6).

Produsul a două numere complexe este tot un număr complex (5):

$$Z = Z_1 \cdot Z_2 = r_1 r_2\,e^{i(\varphi_1+\varphi_2)}. \tag{5}$$

Raportul a două numere complexe este tot un număr complex (6):

$$Z = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{r_1}{r_2}\,e^{i(\varphi_1-\varphi_2)}. \tag{6}$$

Operația de echilibrare constă în stabilirea direcțiilor și a mărimilor dezechilibrelor care provoacă vibrațiile mașinii. Pentru a se stabili aceste direcții, precum și valorile dezechilibrelor, pentru fiecare plan de echilibrare este necesar să se cunoască mărimile $u_0$ și $v_0$, care intervin în relațiile (7) și (8):

$$p_{\mathrm{I}} = p u_0\,e^{i(\varphi u_0 + \delta_A)} \tag{7}$$

$$p_{\mathrm{II}} = p\,v_0\,e^{i(\varphi v_0 + \delta_B)}, \tag{8}$$

în care

$p_{\mathrm{I}}$ și $p_{\mathrm{II}}$ sînt greutățile necesare echilibrării corpului, fixate în planele I și, respectiv, II (fig. 2);

$p$ — greutatea de probă calculată cu relația (9).

Această relație a fost stabilită pe cale experimentală (4), fiind exprimată funcție de reacțiunea statică din lagăr, produsă de greutatea proprie a rotorului. Astfel, dacă se notează cu $G$ greutatea proprie a rotorului (pentru un rotor cilindric reacțiunea statică este $G/2$), forța centrifugă dezvoltată de greutatea de probă ($P$) poate fi aproximativ egală cu 20% din reacțiunea statică. În felul acesta greutatea de probă este exprimată de relația (9):

$$\frac{20}{100}\left(\frac{G}{2}\right) = \frac{p}{g}R\omega^2; \quad p \simeq \frac{G}{R\omega^2}\,[\mathrm{kg}] \tag{9}$$

în care

$G$ este greutatea rotorului, kg;

$R$ — raza canalului pe care se fixează greutatea, m;

$\omega$ — viteza de rotație a rotorului, rad/s.

Pentru echilibrarea planului I—I, vectorul fictiv este exprimat de relația (10):

$$u_0 = \frac{u_1}{u_2}\,e^{i(\varphi u_1 - \varphi u_2 + 180^\circ)}. \tag{10}$$

Vectorii $\vec{u}_1$ și $\vec{u}_2$ sînt exprimați de relațiile (11) și (12) și se determină grafic din figura 7.

$$\vec{u}_1 = \vec{A}_0 + \vec{\delta}_1 \tag{11}$$

$$\vec{u}_2 = \vec{\alpha}_1 + \vec{\delta}_2 \tag{12}$$

Vectorii $\vec{\delta}_1$ și $\vec{\delta}_2$ sînt exprimați de relațiile (13) și (14), iar vectorul fictiv $\delta_0$ se exprimă prin relația (15):

$$\delta_1 = \delta_0 B_0\,e^{i(\varphi\delta_0 + \varphi B_0)} \tag{13}$$

$$\delta_2 = \delta_0\,\beta_1\,e^{i(\varphi\delta_0 + \varphi_{\beta_1})} \tag{14}$$

$$\delta_0 = \frac{\alpha_2}{\beta_2}\,e^{i(\varphi_{\alpha_2} - \varphi_{\beta_2} + 180^\circ)} \tag{15}$$

Pentru echilibrarea planului II—II, vectorul fictiv $v_0$ este exprimat de relația (16):

$$v_0 = \frac{v_1}{v_2}\,e^{i(\varphi v_1 - \varphi v_2 + 180^\circ)} \tag{16}$$

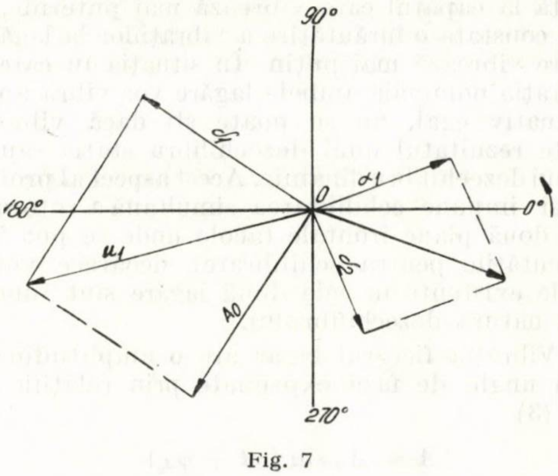



Fig. 7

Vectorii $\vec{v}_1$ și $\vec{v}_2$ sînt exprimați de relațiile (17) și (18) și se determină grafic din figura 8:

$$\vec{v}_1 = \vec{B}_0 + \vec{\gamma}_1 \tag{17}$$

$$\vec{v}_2 = \vec{\beta}_2 + \vec{\gamma}_2. \tag{18}$$

Vectorii $\vec{\gamma}_1$ şi $\vec{\gamma}_2$ sînt exprimaţi de relaţiile (19) şi (20), iar vectorul fictiv $\gamma_0$ se exprimă prin relaţia (21):

$$\gamma_1 = \gamma_0 A_0 e^{i(\varphi_{\gamma_0} + \varphi_{A_0})} \quad (19)$$

$$\gamma_2 = \gamma_0 \alpha_2 e^{i(\varphi_{\gamma_0} + \varphi_{\alpha_2})} \quad (20)$$

$$\gamma_0 = \frac{\beta_1}{\alpha_1} e^{i(\varphi_{\beta_1} - \varphi_{\alpha_1} + 180°)} \quad (21)$$

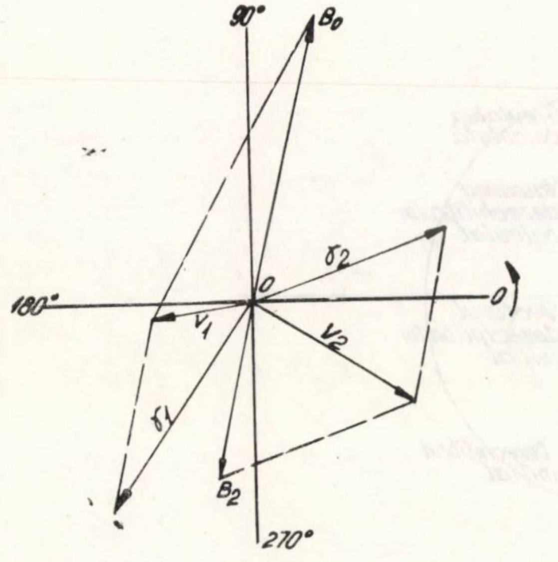



Fig. 8

În felul acesta relaţiile (7) şi (8) sînt perfect determinate şi operaţia de echilibrare este posibilă.

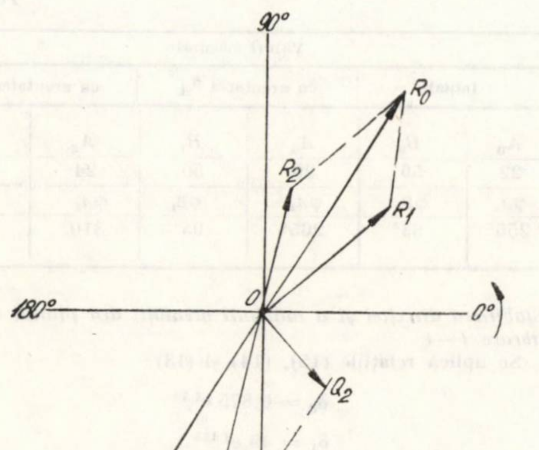



Fig. 9

**Verificarea calculelor**

După efectuarea calculelor cu relaţiile (7) şi (8), este indicat să se verifice exactitatea acestora.

O echilibrare este reuşită atunci cînd greutatea definitivă a fost bine calculată şi poziţionată faţă de dezechilibrul iniţial. În figura 11 se poate observa modul în care variază valoarea vectorului dezechilibrului corpului, atunci cînd greutatea definitivă a fost bine calculată (creează un vector de dezechilibru egal cu cel al dezechilibrului iniţial), dar este poziţionată necorespunzător (pe altă direcţie). Hodograful vectorilor dezechilibrului rezultant (compus din dezechilibrul iniţial şi dezechilibrul calculat) pune în evidenţă creşterea dezechilibrului iniţial dacă greutatea calculată a fost poziţionată greşit. De aceea verificarea măsurătorilor şi a calculelor este de mare importanţă şi se efectuează astfel:

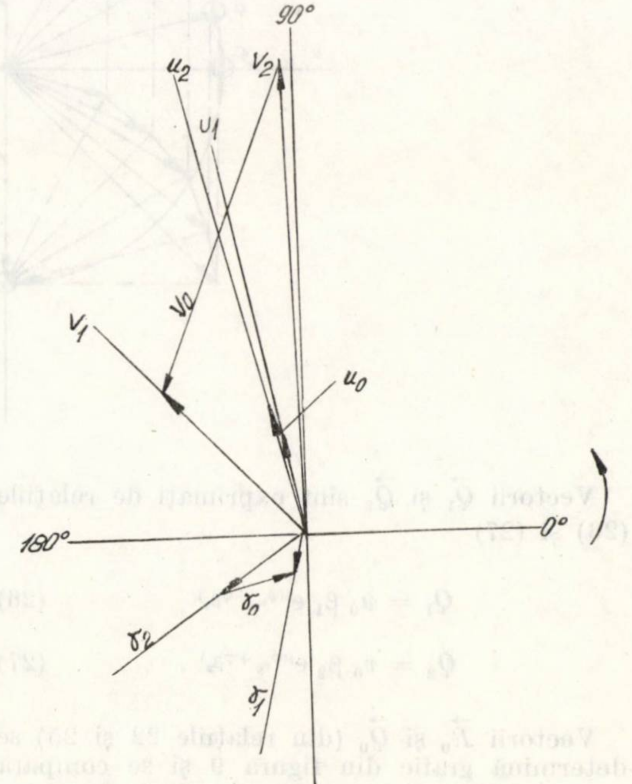



Fig. 10

În planul de echilibrare I—I trebuie să satisfacă relaţia (22), unde

$$R_0\, e^{i\varphi_{R_0}} = A_0\, e^{i(\varphi_{A_0} + 180°)}.$$

$$\vec{R}_0 = \vec{R}_1 + \vec{R}_2. \quad (22)$$

Vectorii $\vec{R}_1$ şi $\vec{R}_2$ sînt exprimaţi de relaţiile (23) şi (24):

$$R_1 = u_0\, \alpha_1\, e^{i(\varphi_{u_1} + \varphi_{\alpha_1})} \quad (23)$$

$$R_2 = v_0 \alpha_2\, e^{i(\varphi_{v_2} + \varphi_{\alpha_2})} \quad (24)$$

În planul de echilibrare II — II trebuie să satisfacă relația (25), unde :

$$Q_0 \, e^{i\varphi_{Q_0}} \equiv B_0 \, e^{i(\varphi_{B_0}+180°)}$$

$$\vec{Q}_0 = \vec{Q}_1 + \vec{Q}_2. \quad (25)$$

tanți ; pe cale grafică și analitică s-au determinat vectorii de influență (fig. 6 și relația 4) :

$$\vec{\alpha}_1 = \vec{A}_1 - \vec{A}_0 = 4 \, e^{i\,23}$$

$$\vec{\alpha}_2 = \vec{A}_2 - \vec{A}_0 = 21 \, e^{i\,7}$$

$$\vec{\beta}_1 = \vec{B}_1 - \overleftarrow{B}_0 = 13 \, e^{i\,207}$$

$$\vec{\beta}_2 = \vec{B}_2 - \vec{B}_0 = 24 \, e^{i\,237}.$$

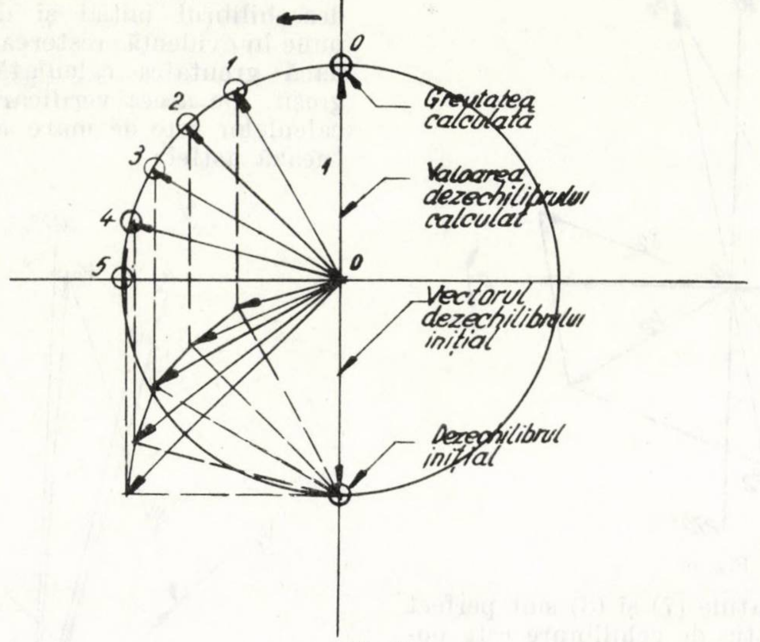



Fig. 11

Vectorii $\vec{Q}_1$ și $\vec{Q}_2$ sînt exprimați de relațiile (26) și (27)

$$Q_1 = u_0 \, \beta_1 \, e^{i(\varphi_{u_0}+\varphi_{\beta_1})} \quad (26)$$

$$Q_2 = v_0 \, \beta_2 \, e^{i(\varphi_{v_0}+\varphi_{\beta_2})}. \quad (27)$$

Vectorii $\vec{R}_0$ și $\vec{Q}_0$ (din relațiile 22 și 25) se determină grafic din figura 9 și se compară cu vectorii inițiali $\vec{A}_0$ și $\vec{B}_0$, prin suprapunerea figurilor 6 și 9.

**Exemplu de calcul**

Aplicația s-a făcut pe un rotor de generator VK-25-1.

Cu turbogeneratorul la turație nominală s-au măsurat valorile inițiale $A_0$, $\varphi_{A_0}$, $B_0$, $\varphi_{B_0}$.

Cu relația (9) s-au calculat greutățile de probă, pentru ambele plane de echilibrare :

— pentru planul I—I, $p_A = 100$ g și pentru planul II—II, $p_B = 220$ g.

S-a fixat greutatea $p_A$ în punctul $\delta_A = 300°$ și la turația nominală s-au măsurat $A_1$, $\varphi_{A_1}$, $B_1$ și $\varphi_{B_1}$.

S-a scos greutatea $p_A$ din planul I—I, s-a fixat greutatea $p_B$ în planul II—II, în punctul $\delta_B = 128°$ și la turația nominală s-au măsurat $A_2$, $\varphi_{A_2}$, $B_2$ și $\varphi_{B_2}$.

Toate aceste valori sînt trecute în tabelul 1 și cu ajutorul lor s-au trasat toți vectorii dezechilibrelor, inițiali și rezul-

*Tabelul 1*

| Valori măsurate | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Inițiale | | cu greutatea $p_A$ | | cu greutatea $p_B$ | |
| $A_0$ | $B_0$ | $A_1$ | $B_1$ | $A_2$ | $B_2$ |
| 22 | 56 | 20 | 50 | 24 | 36 |
| $\varphi A_0$ | $\varphi B_0$ | $\varphi A_1$ | $\varphi B_1$ | $\varphi A_2$ | $\varphi B_2$ |
| 256° | 83° | 265° | 95° | 310° | 100° |

*Stabilirea direcției și a mărimii greutății din planul de echilibrare I—I*

Se aplică relațiile (15), (14) și (13) :

$$\delta_0 = 0{,}875 \, e^{i\,72}$$

$$\delta_1 = 49 \, e^{i\,155}$$

$$\delta_2 = 11{,}4 \quad e^{i\,279}.$$

Grafic, cu ajutorul figurii 7, se rezolvă relațiile (11) și (12), rezultînd :

$$u_1 = 49{,}5 \, e^{i\,180}; \quad u_2 = 12 \, e^{i\,303}.$$

Mărimea $u_0$ se calculează cu relația (10), după care se aplică relația (7) :

$$u_0 = 4{,}13 \, e^{i\,57}$$

$$p_1 = 4{,}13 \cdot 100 \, e^{i(57+300)} = 413 \, e^{i\,357}.$$

În planul de echilibrare I—I se aplică o greutate de echilibrare de 0,413 kg la un unghi de 357° față de punctul de reper stabilit (fig. 6).

*Stabilirea direcției și a mărimii greutății din planul de echilibrare II–II*

Se aplică relațiile (21), (20) și (19):

$$\gamma_0 = 3{,}25\ e^{i\ 4}$$
$$\gamma_1 = 71{,}5\ e^{i\ 260}$$
$$\gamma_2 = 68{,}2\ e^{i\ 11}.$$

Se rezolvă grafic relațiile (17) și (18), conform figurii 8, rezultînd:

$$v_1 = 13{,}5\ e^{i\ 244}$$
$$v_2 = 54\ e^{i\ 352}.$$

Mărimea $v_0$ se calculează cu relația (16), după care se aplică relația (8):

$$v_0 = 0{,}25\ e^{i\ 72}$$
$$p_{II} = 0{,}25 \cdot 200\ e^{i\ 200} = 55\ e^{i\ 200}$$

În planul de echilibrare II–II se aplică o greutate de 0,055 kg la un unghi de 200° față de punctul de reper stabilit (fig. 6).

*Verificarea exactității calculelor*

Pentru planul de echilibrare I–I se utilizează relațiile (24), (23) și (22):

$$R_2 = 5{,}25\ e^{i\ 79}$$
$$R_1 = 16{,}5\ e^{i\ 80}$$
$$R_0 = 21{,}75\ e^{i\ 80}.$$

Din măsurători rezultă $A_0 = 22\ e^{i\ 265}$, adică o deviație de unghi de −5° (valoare acceptabilă).

Pentru planul de echilibrare II–II se aplică relațiile (27), (26) și (25):

$$Q_1 = 53{,}5\ e^{i\ 264}$$
$$Q_2 = 6\ e^{i\ 309}$$
$$Q_0 = 58\ e^{i\ 268}.$$

Din măsurători a rezultat $B_0 = 56\ e^{i\ 83}$, adică o deviație de unghi de +5° și o creștere cu aproximativ 4% a vectorului inițial.

*Tabelul 2*

| Valori măsurate pe lagăre | $L_A$ | | | $L_B$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *V* | *O* | *A* | *V* | *O* | *A* |
| inițiale | 17 | 25 | 21 | 48 | 61 | 86 |
| după echilibrare | 7 | 7 | 8 | 28 | 25 | 23 |

Valorile vibrațiilor înainte și după echilibrare sînt redate în tabelul 2 și pot fi considerate acceptabile.

Trebuie reținut faptul că valorile $A_0$ și $B_0$ din tabelul 1 sînt unități de dezechilibru, care nu trebuie confundate cu amplitudinile de vibrație.

**Bibliografie**


[1] M c H a r i s, C. și E. C r e d e, C h. *Șocuri și vibrații*, vol. III. Editura tehnică, București, 1968 (traducere din limba engleză).

[2] I s t r a t e, I. *Contribuții la echilibrarea generatoarelor.* În: Energetica, nr. 11, 1970.

[3] * * * *Prospectul aparatelor de echilibrare nr. 4 și 5.* Elaborat de firma CEMB (Italia).

[4] * * * *Experiența Serviciului de vibrații de la I. I. S. Energoreparații – București.*



**(Articol intrat în redacție la 17 martie 1972)**


# Cu privire la soluția de repunere în funcțiune după avarie a turbinei nr. 2 Iași prin reconstrucția roții de reglaj


**Ing. Al. Catanchin**
**și subing. N. Vasilescu***)


În decursul existenței sale, întreprinderea „Energoreparații" și-a lărgit permanent profilul, astfel încît, în prezent, în afara lucrărilor de reparații ale agregatelor energetice și de execuție a pieselor de schimb necesare bunei funcționări a acestora, un rol tot mai important revine rezolvării unor probleme complexe, impuse de unele avarii ale agregatelor energetice.

Un exemplu tipic în acest sens îl constituie rezolvarea într-un mod original a unui caz deosebit de repunere în funcțiune a unei turbine avariate de la CET Iași.

La sfîrșitul trimestrului II 1971, ca urmare a unui defect în rețeaua electrică, s-a produs declanșarea turbinei nr. 2 de la CET Iași, de la puterea de 25 MW. În intervalul de creștere a turației pînă la limita de declanșare prin protecția de supraturație, s-au constatat vibrații foarte puternice, în special în zona lagărului nr. 1 și a regulatorului. Din această cauză turbina a fost oprită forțat, demontarea ei apărînd ca iminentă.

Turbina, fabricată de firma Lang (R.P.U.), este cu condensație cu prize reglabile pentru termoficare urbană și industrială, avînd următorii parametri principali:

| | |
|---|---|
| – puterea | 28,6 MW |
| – presiunea aburului la intrarea în turbină | 90 ata |
| – temperatura aburului la intrarea în turbină | 535° C |
| – presiunea prizei reglabile pentru termoficare industrială | 10 ata |
| – presiunea prizei reglabile pentru termoficare urbană | 1,2 ata |

*) Alexandru Catanchin este adjunct șef serviciu la întreprinderea „Energoreparații"-București; Nicolae Vasilescu este proiectant în aceeași întreprindere.

Din punct de vedere constructiv, rotorul corpului de înaltă presiune este de tip tambur, gol în interior, format din două bucăţi (fig. 1), şi anume :

— partea din faţă, cu roata de reglaj şi 22 de trepte cu reacţiune ;

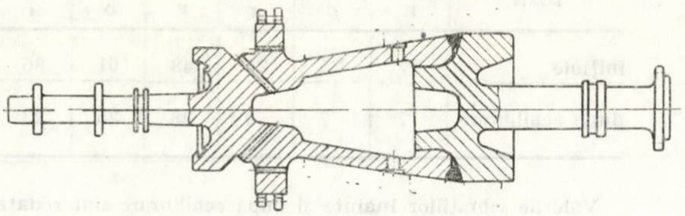


Fig. 1. Desen de ansamblu al rotorului CIP.

— partea dinspre generator, care conţine ultimele cinci trepte, cu reacţiune.

Cele două părţi sînt asamblate prin presare şi sudare. Paletele cu reacţiune sînt cu profil constant, executate prin laminare, avînd piciorul refulat.

La demontarea agregatului s-au constatat următoarele defecţiuni mai importante :

— paletele treptei de reglaj (rîndul I şi inversor) erau lovite, frecate şi deformate puternic ;

— paletele de reacţiune ale rotorului de la corpul de înaltă presiune (CIP) erau frecate parţial ;

— paletele statorului CIP erau frecate puternic;

— labirinţii erau distruşi în toate zonele de etanşare ale CIP ;

— discul roţii de reglaj era rupt în zona cheii de închidere a primei trepte de viteză, cu paletele aferente lipsă, aruncate în spaţiul liber din zona ajutajelor de admisie.

Ruptura se prezenta astfel :

— umărul canalului de încastrare din disc, dinspre intrarea aburului, rupt pe un arc de circa 300 mm ;

— umărul dinspre ieşirea aburului din prima treaptă rupt pe circa 200 mm ; ruptura trecea prin planul de solicitare maximă dată de efortul de încovoiere ce se naşte în obadă ;

— şapte palete, inclusiv piesele cheii, lipseau ;

— un umăr al ferestrei de închidere rupt.

Ruptura prezenta o structură grosieră, o linie neregulată, cu un pronunţat aspect de smulgere.

Controlul vizual al extremităţilor rupturii a pus în evidenţă existenţa unor fisuri pronunţate sub umerii încastrării.

### 1. Analizele efectuate. Cauzele prezumtive ale avariei

Dată fiind importanţa repunerii în funcţiune, întreprinderea ,,Energoreparaţii'', prin serviciile sale specializate, a început să studieze posibilităţile de recondiţionare a rotorului. În acest scop a fost întocmit un program de verificări pentru cunoaşterea în amănunt a stării materialului şi a rotorului avariat. Trebuie menţionat caracterul deosebit al avariei, atît prin consecinţe, cît şi, în special, prin modul de rupere a discului treptei de reglaj, nemaiîntîlnit în centralele din R.S. România.

Programul de verificări cuprindea, în principal :

— controlul minuţios al zonei avariate şi al canalului treptei I de viteză ;

— controlul vizual general al rotorului şi al paletajului ;

— controlul cu lupa şi cu soluţii penetrante al tuturor zonelor ce ar fi putut fi afectate de avarie (găuri de egalizare, sudura de îmbinare a părţilor rotorului, canalele paletelor etc.) ;

— controlul durităţii în diverse puncte ale roţii de reglaj şi ale rotorului ;

— analiza chimică şi microstructura bucăţilor rupte ;

— măsurarea deformaţiilor şi ridicarea diagramei de deformaţie a rotorului CIP.

Într-o altă etapă programul de verificări prevedea prelevarea unor eşantioane asupra cărora să se facă analize concludente : încercări mecanice, probe de fibraj etc. Această etapă a fost posibilă numai după stabilirea de principiu a soluţiei de recondiţionare, în urma decupării unui inel de la periferia roţii de reglaj.

Rezultatele analizelor efectuate conform programului de verificări au fost minuţios studiate, urmărindu-se :

a) stabilirea cauzelor avarierii ;

b) cunoaşterea stării reale a rotorului, în vederea stabilirii unei soluţii de remaniere.

Analizele nu au pus în evidenţă fisuri care să fi luat naştere înainte de rupere. Prin atac cu nital 2% se observă doar o pană de oxid de-a lungul căreia s-a format o fisură de 10 mm, dar într-o zonă solicitată mai puţin. Analiza chimică a materialului rotorului a stabilit compoziţia din tabelul 1.

*Tabelul 1*

| Materialul analizat | C, % | Si, % | Mn, % | Cr, % | Ni, % | Mo, % | W, % | V, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Roata de reglaj | 0,22 | 0,25 | 0,95 | 0,15 | 3,20 | 0,23 | — | — |
| Compoziţia din paşaport a rotorului | 0,26 | 0,28 | 0,88 | 0,10 | 3,08 | 0,14 | — | — |

Se poate observa că materialul rotorului nu prezintă abateri mari de la compoziţia indicată de furnizor. Dacă din acest punct de vedere rotorul nu prezenta nimic deosebit, proba de fibraj şi, ulterior, controlul ultrasonic au pus în evidenţă o structură grosolană şi dendrite, a căror prezenţă dovedeşte că operaţiile de omogenizare a structurii au fost necorespunzătoare.

Din inelul de probă au fost prelevate epruvete pentru următoarele încercări mecanice :
— tracţiune la cald şi la rece ;
— rezilienţă.

Rezultatele acestor încercări şi valorile corespunzătoare din paşaport sînt prezentate în tabelul 2.

*Tabelul 2*

| | Temperatura de încercare°C | $\tau_r$, daN/mm² | $\tau_c$, daN/mm² | K, daJ/cm² | δ 5% |
|---|---|---|---|---|---|
| Paşaport | 20 | 92 | 79,9 | 6,6 | 14,2 |
| Încercări | 20 | 79\|75\|79,6 | 68\|69,7\|68,5 | 10 | 8 |
| | 540 | 45\|52\|36 | — — | — — | — |

Datele prezentate anterior, precum şi alte aspecte rezultate din analizele de detaliu duc la următoarele concluzii :

a) Cauzele avariei nu pot fi precizate cu certitudine, o fisură prealabilă sau o amorsă de la montaj nefiind excluse. În condiţiile existenţei unei asemenea fisuri şi a solicitărilor la care a fost supus discul este posibilă ruperea acestuia.

Trebuie menţionat faptul că s-au remarcat raze reduse de racordare la profilul încastrării, efectele de concentrare a eforturilor fiind pronunţate. În ceea ce priveşte structura rotorului, în mod frecvent structura de turnare este înlăturată prin tratamente şi, în special, prin deformare plastică (forjare). Această structură poate fi şi cauza unei dispersii mari a rezistenţei de rupere la temperatură (36—45 kgf/mm²).

b) Studiile şi analizele efectuate asupra rotorului au stabilit necesitatea executării următoarelor lucrări principale :
— reconstrucţia roţii de reglaj, ţinînd seama de condiţiile ruperii şi de principalele rezultate ale analizelor (rezistenţa obezii, distrugerea încastrării, distrugerea ferestrei de închidere etc.) ;
— refacerea coroanei de palete inversoare ;
— repaletarea întregului corp de înaltă presiune (rotor şi stator) ;
— recondiţionarea labirinţilor din toate zonele de etanşare.

## 2. Analiza tehnică a încastrării originale

Pentru a cunoaşte valorile orientative ale eforturilor reale din diferite secţiuni s-au efectuat calculele de rezistenţă pentru încastrarea originală. Calculele de reconstrucţie s-au bazat pe aceleaşi ipoteze, putîndu-se astfel face abstracţie de influenţele greu de prins în calcul, cum ar fi : concentratori, eforturi dinamice, deformaţii, frecări etc. În figura 2 sînt marcate secţiunile verificate, iar în tabelul 3, valorile efective ale eforturilor pentru turaţiile de 3 300 şi 3 000 rot/min.

## 3. Soluţii posibile de recondiţionare

Pentru repunerea turbinei în funcţiune s-au elaborat mai multe soluţii tehnice de remaniere a rotorului :

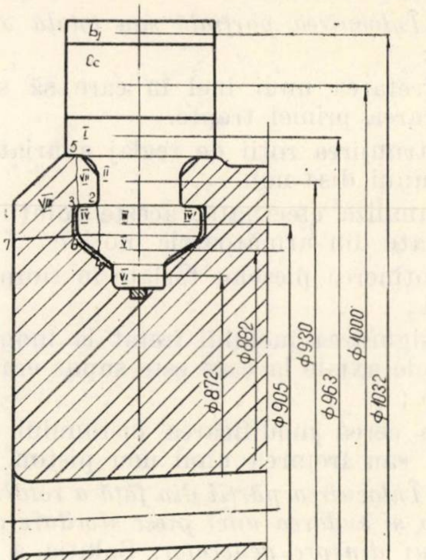



Fig. 2. Schiţa de calcul a paletei originale.

*Tabelul 3*

| Secţiunea | Felul solicitării | Efortul efectiv la 3 300 rot/min, daN/mm² | Efortul efectiv la 3 000 rot/min, daN/mm² |
|---|---|---|---|
| 2—2 | Tracţiune | 3,36 | 2,82 |
| 2—4 | Forfecare | 3,94 | 3,3 |
| 2—4 | Încovoiere | 3,15 | 4,3 |
| 3—5 | Forfecare | 4,14 | 3,46 |
| 3—5 | Încovoiere | 5,5 | 4,6 |
| 6—7 | Tracţiune | 4,45 | 3,75 |
| 6—7 | Încovoiere | 17,6 | 14,8 |

3.1. *Eliminarea paletelor roţii de reglaj în două variante* :

a) Eliminarea totală a roţii de reglaj, care presupunea :
— reglaj prin laminare (deschiderea simultană a supapelor de admisie) ;
— reducerea temperaturii aburului viu de la cazan.

b) Eliminarea primei trepte de viteză, care necesită, de asemenea, reducerea temperaturii la intrare.

Soluţia nu era indicată, datorită modificărilor constructive şi funcţionale pe care le introducea în schema termică, cu efecte negative asupra randamentului întregii instalaţii.

3.2. *Remanierea locală a zonei avariate* :

— Completarea prin sudare a părţilor care lipsesc, cu dezavantajul pericolului tensiunilor termice, care practic nu pot fi eliminate prin detensionare.

— Aplicarea unei piese speciale pentru a completa porţiunea lipsă din circumferinţă.

— Repaletarea zonei avariate (cu încastrarea distrusă) cu palete de construcţie specială şi încastrare nituită.

3.3. *Înlocuirea parţială sau totală a roţii de reglaj* :

— Fretarea unui inel în care să se refacă încastrarea primei trepte.

— Strunjirea roţii de reglaj avariate şi fretarea unui disc nou.

La analiza efectuată, aceste soluţii au fost înlăturate din următoarele motive :

— obţinerea pieselor forjate în timp util era dificilă ;

— asigurarea inelului fretat la momentul şi la forţele axiale la care este supus era greu de realizat ;

— se cerea modificarea pistonului de echilibrare sau fretarea unui nou piston.

3.4. *Înlocuirea părţii din faţă a rotorului prin fretarea şi sudarea unei piese similare cu partea rotorului dinspre generator.* Soluţia a fost eliminată fiind costisitoare şi necesitînd o piesă forjată, a cărei achiziţie cerea un timp îndelungat.

3.5. *Repaletarea completă a primei trepte de viteză cu reproiectarea paletelor şi a încastrării.* Se realizează relativ uşor tehnologic şi păstrează caracteristicile funcţionale ale primei trepte originale. Ridică probleme deosebite din punct de vedere constructiv, dată fiind necesitatea montării unor palete de greutate majorată.

3.6. *Repaletarea completă a primei trepte cu încastrare în furcă nituită.* Această soluţie reduce eforturile în obada discului, dar necesită construirea unui dispozitiv special pentru prelucrarea găurilor de nituri şi cu un volum mare de timp de lucru.

Pentru toate variantele preconizate, s-au efectuat calcule de rezistenţă şi calcule estimative termodinamice şi s-au făcut aprecieri din punct de vedere tehnologic. Ca urmare, au fost selecţionate pentru o analiză comparativă completă următoarele soluţii :

— repaletarea întregului rînd I, coborîrea încastrării şi palete cu încastrarea în furcă nituite ;

— repaletarea întregului rînd, coborîrea încastrării şi palete cu picior în T ;

— repaletarea rîndului în zona neavariată şi montarea în zona avariată a unei piese speciale.

Pentru acestea s-a efectuat o analiză tehnologică detaliată, s-au întocmit grafice de execuţie, cu stabilirea tuturor condiţiilor legate de prelucrare, obţinîndu-se astfel toate elementele necesare unei interpretări judicioase.

**4. Reconstrucţia roţii de reglaj**

Pentru reconstrucţia roţii de reglaj, în urma analizei, a fost adoptată soluţia constînd în coborîrea încastrării în zona neafectată de avarie şi lungirea corespunzătoare a paletelor. Deoarece încastrarea originală a cedat la apariţia unei solicitări suplimentare, se impunea consolidarea acesteia. Efectuarea intervenţiilor asupra dimensiunilor încastrării era cu atît mai necesară cu cît, lungind paleta, creştea greutatea acesteia. Calculele efectuate pentru paleta originală au servit la stabilirea secţiunilor în care se poate acţiona pentru reducerea solicitărilor.

Astfel, secţiunea 6—7 (fig. 2) fiind cea mai încărcată, majorarea ei permite o reducere a eforturilor. Din relaţia :

$$\sigma = \frac{6M}{2\pi\, Rb^2} \tag{1}$$

în care

$M$ este momentul de încovoiere dat de forţa centrifugă a paletei ;

$R$ — raza suprafeţei 6—7 ;

$b$ — lăţimea suprafeţei 6—7,

se poate observa că, deşi raza la care se situează secţiunea s-a redus, în urma reproiectării a crescut lăţimea secţiunii, care în expresie intră la puterea a doua. Această creştere s-a putut realiza prin :

— deplasarea încastrării rîndului I spre rîndul II cu 3 mm, cu modificarea corespunzătoare a paletei ;

— reducerea dimensiunii piciorului paletei şi a lăţimii încastrării cu 1 mm ;

— reducerea interstiţiului din încastrare de la 1 la 0,6 mm.

S-a realizat astfel o creştere a lăţimii secţiunii cu 4,4 mm. Efortul de încovoiere este direct proporţional cu momentul creat de forţa centrifugă $F_p$ a paletei

$$M = F_p \cdot X \tag{2}$$

în care $F_p$ creşte proporţional cu creşterea masei paletei. Reducerea lui $F_p$ şi, implicit, a m mentului s-a realizat prin micşorarea masei paletei, care a ajuns în final la $G = 0{,}930$ kg, ceea ce reprezintă o creştere de numai 0,045 kg faţă de masa paletei originale. Modalităţile prin care s-a realizat aceasta au fost următoarele :

— îngustarea paletei cu 5,5 mm în zona de deasupra încastrării, respectînd lăţimea iniţială la bandaj ;

— subţierea bandajului cu 4 mm ;

— degajări pe feţele orientate axial ale paletei ;

— degajări alveolare în planele ce limitează radial paleta, preconizîndu-se o serie de va-

riante, printre care și practicarea unor găuri longitudinale în paletă;

— majorarea înălțimii profilului.

Îngustarea paletei a determinat reproiectarea profilului, avînd în vedere și respectarea

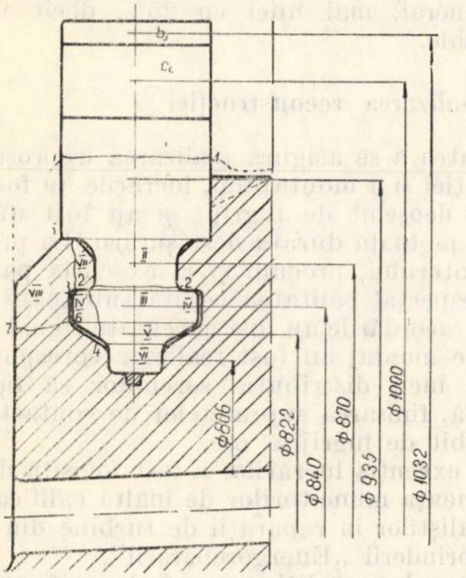



Fig. 3. Schița de calcul a paletei reproiectate.

*Tabelul 4*

| Secțiunea solicitată | Felul solicitării | Efortul efectiv la n = 330 rot/min. daN/mm² | Efortul efectiv la n = 3000 rot/min. daN/mm² |
|---|---|---|---|
| 1 – 1 | Tracțiune | 3,14 | 2,64 |
| 2 – 2 | Tracțiune | 4,46 | 3,74 |
| 2 – 4 | Forfecare | 3,92 | 3,27 |
| 2 – 4 | Încovoiere | 7,12 | 5,95 |
| 3 – 5 | Forfecare | 4,12 | 3,44 |
| 3 – 5 | Încovoiere | 5,48 | 4,58 |
| 6 – 7 | Tracțiune | 4,43 | 3,70 |
| 6 – 7 | Încovoiere | 13,4 | 11,2 |

axei centrului de greutate în planul longitudinal. La rezolvarea acestei probleme a fost necesar să se țină seama de elementele profilului original, astfel încît funcționalitatea treptei să nu se modifice. În acest sens au fost respectate unghiurile de atac și de fugă, celelalte elemente fiind stabilite astfel, încît pentru lățimea mai mică a profilului curgerea aburului să nu se modifice substanțial. De altfel calculele legate de transformările energetice în treapta I de viteză au pus în evidență o reducere insensibilă a randamentului.

Majorarea înălțimii profilului paletei a determinat schimbarea configurației inversorului. Triunghiurile de viteză la nivelul roții de reglaj au evidențiat faptul că modificările amintite au o influență neglijabilă pentru funcționarea turbinei.

Aplicarea măsurilor constructive prezentate s-a făcut concomitent cu calculele de rezistență ale obezii și ale paletei, considerînd aceleași ipoteze ca și în cazul construcției originale și urmărind o echilibrare a eforturilor cu descărcarea secțiunilor solicitate.

Secțiunile de calcul sînt indicate în figura 3. Valorile eforturilor determinate sînt redate în tabelul 4.

În figura 4 sînt prezentate cele două situații: situația originală și după reconstrucția roții de reglaj. Dacă se face o comparație a valorilor eforturilor inițiale și după reconstrucție, îmbunătățirile aduse încastrării sînt edificatoare. În tabelul 5 sînt redate comparativ eforturile și coeficienții de siguranță raportați la valoarea minimă de rupere, rezultată din încercările efectuate asupra epruvetelor prelevate din zona avariată.

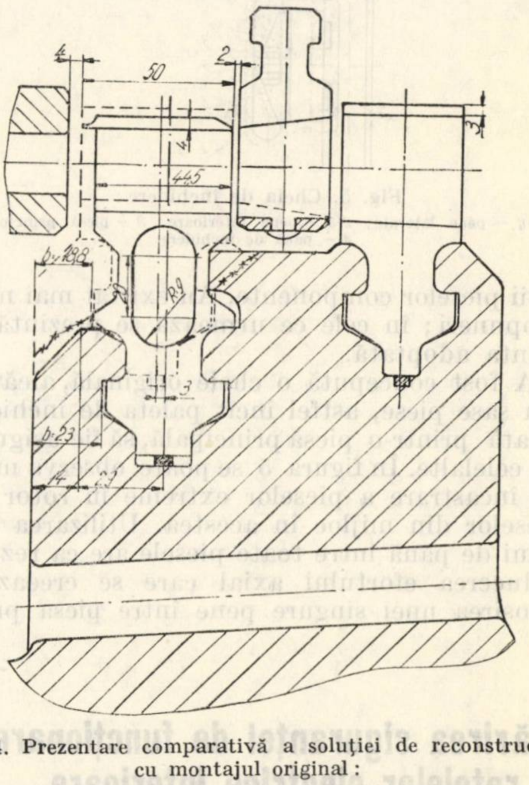


Fig. 4. Prezentare comparativă a soluției de reconstrucție cu montajul original:
–x–x–x– planul rupturii; – – – original; —— reconstruit.

*Tabelul 5*

| Efortul minim rezultat la încercări $\sigma_r$ 540°, daN/mm² | Situația de funcționare | Turația, rot/min 3 300 | 3 000 |
|---|---|---|---|
| | | coeficientul de reducere | |
| | | 1 | 0,838 |
| | | Eforturi efective, daN/mm² | |
| | Original | 22,05 | 18,28 |
| | Recondiționat | 17,637 | 14,628 |
| | | coeficient de siguranță *) | |
| 35 | Original | 1,632 | 1,968 |
| | Recondiționat | 2,041 | 2,461 |

*) Se menționează că temperatura de lucru în zona roții de reglaj este de 425–450°C, ceea ce duce la creșterea valorilor coeficienților de siguranță.

## 5. Proiectarea cheii de închidere

Distrugerea unui umăr al ferestrei a creat dificultăţi deosebite la proiectarea cheii de închidere. Creşterea dimensiunilor prin îndepărtarea zonei avariate a determinat creşterea greu-

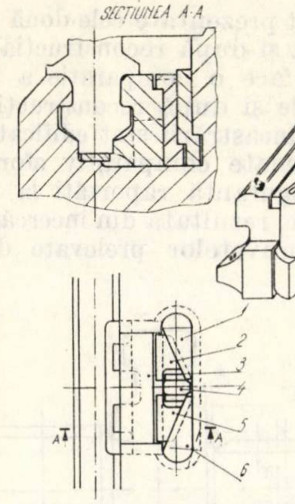



Fig. 5. Cheia de închidere:
*1-6* — pene laterale; *2-5* — pene interioare; *3* — piesă principală; *4* — pană de închidere.

tăţii pieselor componente. Au existat mai multe propuneri; în cele ce urmează se prezintă varianta adoptată.

A fost concepută o cheie originală, alcătuită din şase piese, astfel încît paleta de închidere, fixată printr-o piesă principală, să fie asigurată de celelalte. În figura 5 se poate observa modul de încastrare a pieselor extreme în rotor şi a pieselor din mijloc în acestea. Utilizarea efectului de pană între toate piesele are ca rezultat reducerea efortului axial care se creează la folosirea unei singure pene între piesa principală şi peretele frontal al ferestrei, asigurînd o închidere uniformă în toate direcţiile. Referitor la cheia originală, calculul efectuat a fost estimativ, întrucît nu s-a putut stabili configuraţia acesteia înainte de avariere.

Eforturile pentru varianta prezentată sînt, în general, mai mici cu 25% decît valorile originale.

## 6. Realizarea reconstrucţiei

Pentru a se asigura realizarea ireproşabilă a execuţiei şi a montajului, lucrările au fost efectuate deosebit de îngrijit şi au fost urmărite atent pe toată durata desfăşurării. La prelucrările rotorului, precum şi la execuţia paletelor, s-a respectat calitatea cerută sub toate aspectele : racordările au fost executate riguros, jocurile de montaj au fost realizate corespunzător, astfel încît distribuţia sarcinilor să fie echilibrată, finisarea suprafeţelor de contact a fost deosebit de îngrijită etc.

La execuţia lucrărilor a fost folosită din plin experienţa muncitorilor de înaltă calificare şi a specialiştilor în reparaţii de turbine din cadrul întreprinderii „Energoreparaţii".

Rotorul recondiţionat a fost verificat în supraturare, la 3 500 rot/min, timp de 1 min. S-a efectuat echilibrarea dinamică la turaţia nominală, obţinîndu-se caracteristici foarte bune. Operaţiile de echilibrare şi de supraturare au fost executate pe bancul de probe de la Uzina de maşini grele—Bucureşti.

În final, rotorul a fost montat în turbină, pornirea făcîndu-se în condiţii obişnuite, conform regimului nominal al maşinii.

Pînă în prezent turbina funcţionează normal la sarcina nominală, nesemnalizîndu-se nimic deosebit.

(Articol intrat în redacţie la 17 martie 1972)

# Mărirea siguranţei de funcţionare a reţelelor electrice interioare la combinate chimice cu proces tehnologic continuu

Ing. E. Covar*)

## 1. Particularităţi ale consumatorilor tehnologici de energie electrică ce deservesc procesul tehnologic continuu şi implicaţiile lor în alegerea soluţiei de alimentare

### 1.1 *Condiţii generale*

În industria chimică există unităţi productive în care procesul tehnologic este continuu, perturbarea sau oprirea fabricaţiei determinînd un timp relativ mare pentru reluarea procesului tehnologic şi atingerea parametrilor nominali. În aceste condiţii, pierderile de producţie şi rebuturile sînt mari, chiar pentru o întrerupere a procesului tehnologic foarte scurtă (de ordinul zecilor de secunde). O astfel de oprire a procesului tehnologic poate fi provocată de întreruperea alimentării cu energie electrică, deoarece majoritatea utilajelor sînt antrenate cu motoare electrice (unele utilaje sînt antrenate cu turbine cu abur, dacă există disponibilitate de abur; utilizarea acţionării cu turbine se întîlneşte la utilaje importante pentru procesul tehnologic, turbinele avînd cuplate pe axul de antrenare a utilajului motoare electrice de rezervă sau existînd utilaje de rezervă antrenate de motoare electrice; intrarea în funcţiune a rezervei electrice este automatizată).

*) Eugen Covar este inginer proiectant la IPRAN—Bucureşti.

Ponderea întreruperii alimentării cu energie electrică printre cauzele ce determină oprirea procesului tehnologic este destul de ridicată.

Trebuie avut în vedere faptul că oprirea procesului tehnologic se poate datora întreruperii alimentării unor grupuri de motoare electrice sau a unor motoare electrice individuale, dacă acestea antrenează utilaje ce condiționează procesul tehnologic. Pentru astfel de utilaje se prevăd, în general, utilaje de rezervă antrenate de motoare electrice. Rezerva este de obicei electrică, chiar dacă utilajele de bază sînt antrenate cu turbină de abur, datorită pornirii ușoare și rapide a motoarelor electrice. Astfel, alimentarea cu energie electrică a motorului de antrenare a utilajului de rezervă trebuie asigurată și în cazul ieșirii din funcțiune a utilajului de bază, datorită întreruperii alimentării motorului său de antrenare. Aceasta implică alimentarea motorului utilajului de rezervă de la o sursă separată, independentă de sursa de alimentare a motorului utilajului de bază (orice avarie pe una dintre surse nu trebuie să deranjeze pe cealaltă).

Pentru utilajele care nu au rezervă, menținerea lor în funcțiune, la căderea sursei de alimentare normală, este condiționată de existența unei surse separate de rezervă, independentă de prima și care să o înlocuiască automat și în timp util (cît mai scurt). Pentru aceasta este necesară o instalație de anclanșare automată a rezervei (AAR). Trebuie menționat faptul că utilajele antrenate de motoare sincrone nu pot beneficia de AAR, deoarece în pauza de AAR (durata lipsei de tensiune pe bare) alunecarea motoarelor sincrone depășește valoarea-limită la care ar mai putea fi resincronizate, chiar cu respectarea condițiilor de sincronism la conectarea sursei de rezervă. În majoritatea cazurilor anclanșarea alimentării de rezervă se realizează după deconectarea motoarelor sincrone de la barele fără tensiune.

### 1.2. *Utilizarea motoarelor sincrone. Dezavantaje. Posibilități de înbunătățire a condițiilor de funcționare la avarii în sistemul electroenergetic al combinatului*

În prezent utilizarea motoarelor sincrone în combinatele chimice se datorează în mare măsură dorinței de a compensa factorul de putere pînă la valoarea neutrală pentru energia electrică absorbită din sistemul energetic național (dat fiind faptul că factorul de putere neutral depășește factorul de putere al consumatorilor electrici, în majoritate motoare asincrone cu factor de putere 0,8—0,9). De aceea se aleg sincrone numai motoarele electrice de putere mare. Acestea antrenează utilaje importante, care, de obicei, nu au rezervă (fiind prea costisitoare) și care prin ieșirea lor din funcțiune perturbează puternic procesul tehnologic, conducînd în general la oprirea lui.

Dezavantajul principal al motoarelor sincrone față de motoarele asincrone este ieșirea din sincronism (deci din funcțiune) la scăderi importante ale tensiunii pe bare (sub 0,6 $U_n$) pe durate foarte scurte.

La aceasta se adaugă imposibilitatea aplicării AAR, după cum s-a arătat mai sus.

Pînă în prezent s-a încercat repornirea motoarelor sincrone imediat după ieșirea lor din sincronism în regim asincron, beneficiind și de faptul că turația motorului nu a scăzut la zero. O dificultate o reprezintă necesitatea de a aștepta dezexcitarea motorului sincron înainte de reconectarea la bare, timp în care turația motorului scade mult, astfel că aducerea motorului la turația subsincronă în regim asincron și cu utilajul în sarcină poate provoca încălziri nepermise ale înfășurărilor motorului și deteriorarea acestora. Unele încercări de resincronizare a motoarelor sincrone cu utilaje în sarcină au fost realizate cu succes, fără însă a putea generaliza procedeele. După părerea autorului, pentru rezolvarea acestei probleme ar fi util ca fabricile de motoare sincrone mari (de exemplu, U.C.M.—Reșița) să inițieze un procedeu de repornire a motoarelor în sarcină, proiectînd corespunzător și motoarele. Pînă la rezolvarea satisfăcătoare a acestei deficiențe a motoarelor sincrone este preferabilă evitarea utilizării acestora, compensarea factorului de putere realizîndu-se pe alte căi (condensatoare racordate pe barele 0,4 kV, 6 kV etc.), ceea ce are și avantajul încărcării transformatoarelor 6/0,4 kV, 110/6 kV cu putere activă pînă la sarcina nominală.

În unele cazuri, cînd utilizarea motoarelor sincrone mari a fost impusă de alte considerente, pentru a limita scăderile de tensiune pe barele de alimentare a motoarelor sincrone, produse de scurtcircuite în aval (pe plecările de la barele respective), s-a utilizat montarea bobinelor de reactanță pe toate plecările de la barele respective (inclusiv pe circuitele motoarelor sincrone). În aceste cazuri, bobinele de reactanță servesc și altor scopuri. Astfel, bobinele de reactanță din circuitele motoarelor sincrone servesc la micșorarea curenților de pornire a motoarelor și, prin aceasta, la micșorarea scăderilor de tensiune pe bare în timpul pornirii. Bobinele de reactanță nu sînt șuntate după pornire, menținerea lor în circuitul motoarelor fiind justificată mai sus.

Bobinele de reactanță din circuitele plecărilor spre alte stații de 6 kV servesc la reducerea puterilor de scurtcircuit în scopul utilizării aparatajului de comutație mai ieftin și de fabricație curentă în R.S. România.

Astfel, la scurtcircuite după bobinele de reactanță, tensiunea remanentă pe bare este de ordinul 0,4—0,75 $U_n$. La acest nivel de tensiune motoarele sincrone pot funcționa timp

de 0,5 s—1 min, ceea ce permite protecţiilor prin relee să lichideze scurtcircuitele fără urmări pentru motoarele sincrone. Este indicată utilizarea unor protecţii rapide şi selective pe circuitele din aval de barele de alimentare a motoarelor sincrone (de exemplu, secţionare de curent, protecţie diferenţială longitudinală) pentru scurtarea timpilor de lichidare a scurtcircuitelor. Totodată, aceasta serveşte şi la scurtarea pauzei de AAR, după cum va rezulta în cele ce urmează.

Este de remarcat faptul că de aceste avantaje beneficiază şi ceilalţi consumatori electrici (motoarele asincrone în special), nu numai motoarele sincrone.

1.3. *Consumatorii vitali — categoria de consumatori cu cele mai mari exigenţe în alimentarea cu energie electrică*

În afară de categoriile de utilaje antrenate de motoare electrice indicate mai sus, există o categorie de utilaje (consumatori vitali) a căror nefuncţionare pe anumite durate după întreruperea totală a alimentării din sistemul energetic naţional generează pericole de incendii, explozii, deteriorări de utilaje, prelungirea duratei de reluare a procesului tehnologic, intoxicaţii etc.

Pentru aceşti consumatori se prevede, în general, o centrală de siguranţă cu grupuri Diesel cu pornire rapidă (15—20 s), ce porneşte automat la întreruperea alimentării consumatorilor pentru care este prevăzută. În general, se prevede o singură centrală de siguranţă pentru o platformă uzinală, realizată cu unul sau cu două grupuri Diesel. Atunci cînd se folosesc două grupuri Diesel, se prevăd pornirea lor simultană, sincronizarea şi punerea în paralel înainte de conectarea consumatorilor vitali. În cazul refuzului de pornire a unui grup, celălalt va alimenta o parte din consumatori (se stabileşte dinainte o ordine preferenţială în conectarea consumatorilor vitali la centrala de siguranţă; conectarea consumatorilor se face eşalonat, pentru a nu supraîncărca motoarele Diesel în timpul pornirii motoarelor electrice de antrenare a consumatorilor vitali).

Alimentarea consumatorilor vitali de la centrala de siguranţă se poate realiza prin :

— racordarea tuturor consumatorilor vitali la o bară de siguranţă alimentată în regim normal de la sursa normală (sistemul energetic naţional), iar în regim de avarie de la centrala de siguranţă, comutarea surselor făcîndu-se automat; această soluţie tehnică este preferabilă atunci cînd consumatorii vitali nu sînt distribuiţi pe o suprafaţă mare sau cînd aceştia nu aparţin unor procese tehnologice care nu permit alimentarea lor de la aceeaşi sursă (bară) în regim normal;

— căile normale de alimentare (care au fost sub tensiune pînă în momentul întreruperii alimentării normale, deci nu sînt defecte); în acest caz sînt alimentate de la centrala de siguranţă toate barele la care sînt racordaţi consumatori vitali, ceea ce implică deconectarea de la aceste bare a tuturor consumatorilor nevitali (pentru a nu supraîncărca motoarele Diesel) printr-o instalaţie de descărcare automată a sarcinii.

În cazul ultimei soluţii pornirea automată a centralei de siguranţă se realizează la căderea totală a alimentării întregii platforme uzinale de la sistemul energetic naţional (110 kV). În situaţia căderii parţiale a sistemului energetic uzinal datorită unor defecte interne, centrala de siguranţă nu porneşte, alimentarea consumatorilor vitali (precum şi a celor nevitali) trebuind să fie realizată cu o sursă de rezervă şi AAR.

1.4. *Concluzii privind alimentarea cu energie electrică. Exemplificări*

Din cele arătate mai sus rezultă că sistemul energetic al combinatului chimic trebuie să asigure consumatorilor electrici două surse de alimentare normală independente, dimensionate astfel, încît fiecare să poată prelua întreaga putere cerută şi (la nevoie), o a treia sursă de siguranţă pentru alimentarea consumatorilor vitali în cazul căderii simultane a celor două surse de alimentare normală. Sursa de siguranţă este dimensionată numai pentru a acoperi puterea consumatorilor vitali (putere mică în raport cu cea a surselor normale) şi este utilizată numai în regim de avarie. Doar în cazuri speciale sursa de siguranţă asigură alimentarea normală a unor consumatori ce nu admit întrerupere (decît cu pierderi mari de producţie), sistemul energetic naţional fiind sursa de rezervă. Realizarea celor două surse normale se obţine prin două sisteme electrice independente la tensiunile de 110, 6 şi 0,4 kV, dimensionate astfel ca în fiecare staţie electrică o sursă să poată prelua consumatorii alimentaţi de cealaltă (fiecare sursă poate fi rezerva celeilalte).

Prin urmare constituirea celor două surse independente de alimentare normală a consumatorilor tehnologici începe încă din sistemul energetic naţional. Sursa de siguranţă se realizează în cadrul sistemului electroenergetic al combinatului chimic.

În exemplul de sistem electroenergetic dat în figura 1, cele de mai sus se concretizează astfel :

— în staţia 110/6 kV (de obicei de tip racord adînc), cele două transformatoare sînt în mod normal în funcţiune (dar fiecare poate acoperi sarcina cerută de întreaga platformă uzinală), fiind conectate pe cele două secţii de bare ale sistemului de bare I; cuplele sînt deschise (în-

treruptoarele înnegrite) ; sistemul de bare II (de rezervă) este fără tensiune ;

— de pe secţiile de bare I *A*, I *B* se alimentează secţiile de bare ale staţiei de 6 kV, 250 MVA, cupla este deschisă, fiderii de alimentare sînt dimensionaţi fiecare la sarcina cerută de ambele secţii de bare 6 kV, 250 MVA ;

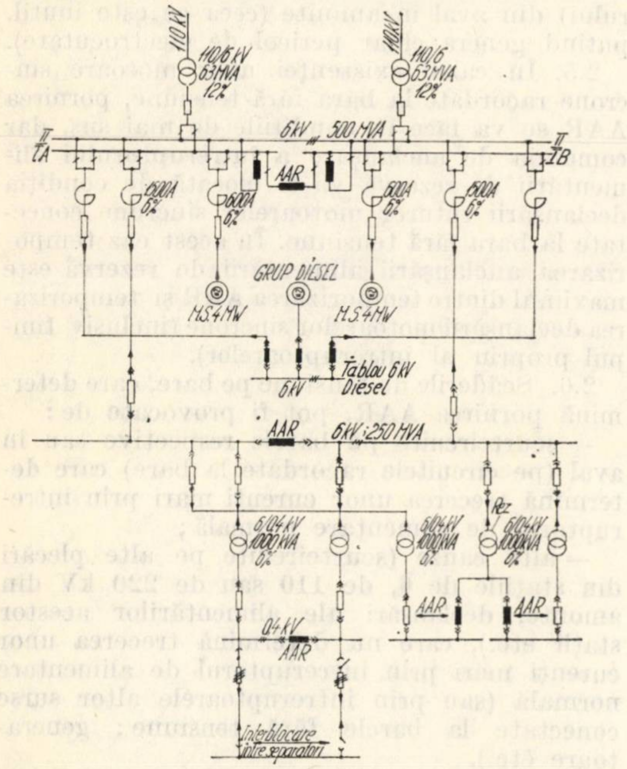



Fig. 1. Schema electrică monofilară de distribuţie a unui combinat chimic.

— în staţia 0,4 kV cu două secţii de bare şi două transformatoare 6/0,4 kV, ambele transformatoare sînt în mod normal în funcţiune (fiecare poate acoperi puterea cerută de ambele secţii de bare), cupla este deschisă ;

— în staţia 0,4 kV cu două secţii de bare şi trei transformatoare 6/0,4 kV, toate transformatoarele sînt sub tensiune, dar numai două sînt în mod normal în sarcină (întreruptoarele 0,4 kV ale transformatorului de rezervă sînt în mod normal deschise) ; fiecare transformator este dimensionat pentru a acoperi puterea cerută de o secţie de bare (transformatorul de rezervă poate înlocui numai unul dintre transformatoarele active) ;

— tabloul secundar este alimentat prin doi fideri (fiecare dimensionat la sarcina cerută pe tablou), unul fiind în funcţiune, celălalt în rezervă ;

— în cazul căderii totale a alimentării din sistemul de 110 kV (lipsă de tensiune pe barele 6 kV, I*A*, I *B*, II), este pornit automat grupul Diesel şi energia debitată de acesta pe barele staţiei de 6 kV, 500 MVA este distribuită pe căile normale (soluţia a doua de alimentare a consumatorilor vitali).

În schema electrică din figura 1 sînt indicate întreruptoare debroşabile de 6 kV, 250 MVA şi 0,4 kV. Utilizarea acestora are avantajul interschimbabilităţii întreruptoarelor şi al eliminării separatoarelor.

De asemenea, trebuie menţionat faptul că toate căile de curent de rezervă (transformator de rezervă, fiderii între tabloul de 6 kV Diesel şi staţia de 6 kV, 500 MVA), care în mod normal nu sînt în sarcină, trebuie să fie sub tensiune pentru a avea siguranţa că în orice moment pot înlocui căile normale avariate.

Totodată trebuie avut în vedere ca, în exploatare, fiderii între tabloul de 6 kV Diesel şi staţia de 6 kV, 500 MVA şi plecările din această staţie prin care sînt alimentaţi consumatori vitali să fie conectaţi totdeauna la aceeaşi secţie de bare în staţia de 110/6 kV. În acest scop este indicat să se introducă blocaje în schemele de comandă ale separatoarelor de bare corespunzătoare.

## 2. Utilizarea AAR ca metodă de evitare a întreruperii procesului tehnologic la căderea sursei de alimentare normală. Implicaţii asupra schemelor de comandă a consumatorilor

În cele ce urmează se va face o analiză a instalaţiilor de AAR şi a implicaţiilor pe care acestea le au asupra schemelor de comandă. Importanţa AAR rezultă din faptul că întreruperi de scurtă durată (2—3 s) în alimentarea cu energie electrică determină oprirea procesului tehnologic. Prin urmare, dacă sursa de rezervă nu înlocuieşte sursa normală avariată în timp util, oprirea procesului tehnologic nu poate fi evitată (ceea ce antrenează pierderi de producţie şi rebuturi). În cazul lipsei AAR, avantajul existenţei a două surse de alimentare este reluarea procesului tehnologic imediat ce sursa defectă a fost înlocuită cu cea de rezervă, prin comenzi manuale. În cazul existenţei unei singure surse, procesul tehnologic ar putea fi reluat numai după reparaţia căii de alimentare defecte, ceea ce măreşte considerabil durata opririi şi pierderile de producţie.

Prin utilizarea AAR se urmăreşte însă evitarea opririi procesului tehnologic şi reducerea la minimum a eventualelor perturbaţii.

Trebuie menţionat faptul că pentru atingerea acestui scop este necesar să se ia măsuri corespunzătoare şi în automatizările tehnologice.

Introducerea AAR necesită o investiţie suplimentară : costul releelor (circa 10 000 lei pe staţie electrică), înlocuirea separatoarelor montate pe partea de 0,4 kV a transformatoarelor de 6/0,4 kV cu întreruptoare automate (acestea oferă şi avantajul unei bune protecţii

a transformatoarelor la suprasarcinile ce provin de la consumatorii de joasă tensiune, deoarece au încorporate relee termice ; în aceste condiţii, protecţia de curent prevăzută la întreruptorul de 6 kV al transformatorului serveşte ca protecţie numai împotriva scurtcircuitelor în transformator şi în circuitele de 0,4 kV).

Avînd în vedere pierderile mari datorate unei singure opriri a procesului tehnologic (de ordinul zecilor sau al sutelor de mii de lei), investiţia suplimentară este pe deplin justificată.

Funcţionarea AAR se bazează pe următoarele :

2.1. AAR porneşte la lipsa tensiunii pe barele active şi în prezenţa tensiunii pe barele de rezervă. Este indicat ca la staţiile de 6 kV demarajul AAR să fie dat de aceleaşi relee de minimă tensiune care comandă declanşarea motoarelor de 6 kV (releele protecţiei de tensiune minimă). Funcţionarea protecţiei de minimă tensiune indică o alimentare anormală a motoarelor electrice, deci necesitatea anclanşării alimentării de rezervă. Este indicat ca releele de tensiune minimă (montate pe trei faze) să aibă contactele în serie, pentru a nu da o comandă greşită la arderea siguranţelor în circuitele de tensiune. De asemenea, arderea siguranţelor trebuie semnalizată personalului de exploatare.

În cazul existenţei unor motoare sincrone, acestea trebuie să aibă o protecţie de tensiune minimă separată (vezi paragraful 5).

2.2. Instalaţia AAR comandă cu temporizare declanşarea întreruptorului de alimentare normală, corespunzător sursei defecte.

Temporizarea declanşării alimentării normale, denumită temporizare AAR, determină în cea mai mare măsură pauza de AAR (durata lipsei de tensiune pe bare) şi de aceea trebuie să fie cît mai mică.

2.3. Declanşarea alimentării normale este urmată fără temporizare de anclanşarea alimentării de rezervă (comanda este dată prin contactul auxiliar normal închis al întreruptorului alimentării normale) ; în consecinţă la declanşarea accidentală a întreruptorului alimentării normale, întreruptorul alimentării de rezervă anclanşează fără temporizare ; acelaşi contact auxiliar realizează şi blocajul conectării alimentării de rezervă cînd alimentarea normală este în funcţiune, în scopul evitării punerii în paralel a celor două surse care ar putea fi nesincrone sau, fiind sincrone, ar determina o circulaţie de puteri inadmisibilă.

2.4. Pentru accelerarea AAR, declanşarea întreruptorului din amonte al fiderului de alimentare a unei secţii de bare (sau întreruptorului de 6 kV al unui transformator de 6/0,4 kV) comandă prin contactul său auxiliar normal închis declanşarea întreruptorului corespunzător pe fider, care constituie alimentarea secţiei respective de bare (întreruptorul de 0,4 kV al transformatorului de 6/0,4 kV). În acest fel declanşarea accidentală sau prin protecţiile netemporizate este urmată de funcţionarea netemporizată a AAR. Dacă la condiţia de mai sus se adaugă blocajul anclanşării întreruptorului din aval, dacă întreruptorul din amonte pe acelaşi fider (transformator) este declanşat, se evită şi alimentarea fiderului (transformatorului) din aval în amonte (ceea ce este inutil, putînd genera chiar pericol de electrocutare).

2.5. În cazul existenţei unor motoare sincrone racordate la bara fără tensiune, pornirea AAR se va face în condiţiile de mai sus, dar comanda de anclanşare a întreruptorului alimentării de rezervă va fi blocată de condiţia declanşării tuturor motoarelor sincrone conectate la bara fără tensiune. În acest caz temporizarea anclanşării alimentării de rezervă este maximul dintre temporizarea AAR şi temporizarea declanşării motoarelor sincrone (inclusiv timpul propriu al întreruptoarelor).

2.6. Scăderile de tensiune pe bare, care determină pornirea AAR, pot fi provocate de :

— scurtcircuite pe barele respective sau în aval (pe circuitele racordate la bare) care determină trecerea unor curenţi mari prin întreruptorul de alimentare normală ;

— alte cauze (scurtcircuite pe alte plecări din staţiile de 6, de 110 sau de 220 kV din amonte, declanşări ale alimentărilor acestor staţii etc.), care nu determină trecerea unor curenţi mari prin întreruptorul de alimentare normală (sau prin întreruptoarele altor surse conectate la barele fără tensiune : generatoare etc.).

În primul caz, defectul se află pe partea consumatorului, în raport cu bara fără tensiune (deci sursa de alimentare nu este defectă, dar este deranjată de defectul de la consumator) şi AAR nu trebuie să funcţioneze, deoarece AAR înlocuieşte sursa defectă cu sursa de rezervă (în acest caz sursa normală nu este defectă, iar conectarea sursei de rezervă pe consumatorul avariat ar deranja şi sursa de rezervă care alimentează alţi consumatori, deranjîndu-i şi pe aceştia).

În al doilea caz, defectul nu este pe partea consumatorului, ci pe partea sursei de alimentare în raport cu bara fără tensiune. În această situaţie AAR trebuie să funcţioneze pentru a înlocui sursa defectă cu cea de rezervă. Trebuie să se aibă grijă ca autopornirea consumatorilor pe sursa de rezervă să nu deranjeze ceilalţi consumatori alimentaţi de aceasta.

Blocajul AAR la scurtcircuite pe bare sau în aval se realizează cu o protecţie maximală de curent netemporizată, montată pe toate sursele barei fără tensiune. Reglajul releelor de curent se face la valoarea minimă a curentului care determină scăderea de tensiune pe bare la care lucrează releele de tensiune minimă ce pornesc AAR. Reglînd la o valoare mai mare,

este posibil să apară un curent (la un defect la consumator) şi o scădere a tensiunii corespunzătoare pe bare, astfel ca AAR să pornească prin funcţionarea releelor de tensiune minimă (unui curent mai mare îi corespunde o scădere de tensiune mai mare) şi să nu fie blocat de protecţia maximală de curent. Rezultatul este conectarea sursei de rezervă pe un consumator defect, deranjarea acesteia şi a consumatorilor alimentaţi de ea şi extinderea avariei.

În cazul inexistenţei blocajului AAR la scurtcircuite pe bare sau în aval, temporizarea AAR trebuie să fie superioară temporizării maxime a protecţiilor circuitelor conectate la barele respective, astfel ca scurtcircuitele pe aceste circuite să poată fi lichidate de întreruptoarele circuitelor înainte de conectarea sursei de rezervă. Pentru cazul refuzului la declanşare a întreruptorului circuitului defect, urmat de declanşarea prin protecţie a alimentării normale, anclanşarea pe defect a alimentării de rezervă şi declanşarea acesteia prin protecţie, se prevedea întreruperea comenzii de anclanşare a alimentării de rezervă (după o declanşare prin protecţie). Aceste dezavantaje (temporizare AAR mai mare decît cea a protecţiilor circuitelor din aval, anclanşarea alimentării de rezervă pe consumator defect) sînt eliminate de blocajul la scurtcircuite pe bare şi în aval. În plus, acest blocaj serveşte şi la blocarea anclanşării manuale a alimentării de rezervă şi a reanclanşării manuale a alimentării normale pînă la înlăturarea defectului.

2.7. Instalaţiile AAR realizate în staţiile de 6 şi de 0,4 kV nu sînt reversibile, adică trecerea secţiei de bare respectivă de pe alimentarea de rezervă pe alimentarea normală nu se realizează automat. Funcţionarea cu alimentare pe sursa de rezervă înseamnă funcţionarea fără nici o altă rezervă. La căderea sursei de rezervă consumatorii rămîn fără alimentare şi procesul tehnologic este oprit. De aceea este necesar ca punerea în funcţiune a alimentării normale să se realizeze cît mai repede şi să se treacă secţia de bare pe alimentarea normală. Pentru ca trecerea de pe o alimentare pe alta să se realizeze fără întrerupere de tensiune, este necesar ca cele două alimentări să fie puse în paralel pentru scurt timp, cu condiţia realizării paralelului în amonte pînă la barele staţiei de 110 kV.

Pentru scurtarea duratei de funcţionare în paralel se poate comanda declanşarea întreruptorului alimentării de rezervă printr-un contact auxiliar normal deschis al întreruptorului alimentării normale. Această soluţie este aplicabilă în special la staţii de 0,4 kV.

În cazul tablourilor secundare de 0,4 kV, alimentate cu doi fideri de la două secţii de bare de 0,4 kV ale unei staţii de 0,4 kV, pentru trecerea tabloului de pe o alimentare pe alta este necesară realizarea paralelului secţiilor de bare 0,4 kV respective pe durata efectuării manevrelor. În general este indicată limitarea funcţionării în paralel (printr-un releu de timp), datorită creşterii puterilor de scurtcircuit peste puterile de rupere ale aparatelor electrice (acestea din urmă se aleg fără a ţine seama de funcţionarea în paralel a surselor pentru durată scurtă).

2.8. Punerea în funcţiune a instalaţiei de AAR se realizează cu o cheie de comandă.

2.9. În cazul dispariţiei tensiunii pe o bară, toate barele din aval alimentate de la aceasta vor fi lipsite de tensiune, ceea ce determină pornirea AAR în toate staţiile electrice respective.

Pentru rezolvarea acestei situaţii este suficient să lucreze AAR în staţia din amonte. Totodată acest lucru este şi necesar pentru ca barele din aval să rămînă pe alimentarea normală (păstrîndu-şi astfel rezerva). În caz contrar, ar trebui efectuate manevre de trecere pe alimentarea normală la aceste staţii.

De aceea este indicat ca AAR în toate staţiile de 6 şi de 0,4 kV să aibă două trepte de temporizare : treapta mai mică, pentru cazurile în care AAR din amonte nu a pornit (deci nu trebuie aşteptată conectarea sursei de rezervă în amonte) şi o treaptă superioară, pentru situaţiile în care AAR din amonte a pornit. În ultimul caz revenirea tensiunii se realizează cu treapta mai mică de timp, datorită funcţionării AAR în amonte.

Dacă AAR în amonte nu rezolvă conectarea sursei de rezervă în locul celei normale, deşi a demarat, AAR în aval lucrează cu treapta a doua (mai mare). Cele două trepte de timp ale AAR sînt aceleaşi pentru toate staţiile de 6 şi de 0,4 kV.

În lipsa interblocării instalaţiilor AAR amonte-aval, ar fi trebuit mărită temporizarea AAR din aval faţă de AAR din amonte. Aceasta ar fi condus la pauze mari de AAR pe barele de 0,4 kV, adică tocmai la consumator, ceea ce ar fi scăzut eficienţa AAR.

În cazul existenţei interblocării între instalaţiile AAR amonte-aval, revenirea tensiunii se realizează cu treapta mică de timp şi, numai în caz de refuz de funcţionare a unei instalaţii AAR, cu treapta a doua de temporizare.

2.10. În cazul alimentării sistemului electroenergetic al platformei uzinale de la centrala de siguranţă (fig. 1), conectarea acesteia la barele de 6 kV, 500 MVA, trebuie să se realizeze cu ambii fideri simultan, evitînd astfel funcţionarea inutilă a AAR. AAR trebuie să rămînă în funcţiune pentru a asigura alimentarea tuturor consumatorilor vitali în cazul conectării centralei de siguranţă pe un fider la staţia de 6 kV, 500 MVA.

2.11. În schemele de AAR realizate cu întreruptoare debroşabile este importantă nu numai poziţia contactelor principale ale între-

ruptorului, ci şi poziţia „introdus" sau „extras" a întreruptorului. Astfel, un întreruptor închis aflat pe poziţia „extras" este echivalent cu acelaşi întreruptor deschis aflat pe poziţia „introdus", în sensul că circuitul respectiv este deschis.

Pentru a utiliza în schemele logice cu contacte şi relee poziţia întreruptorului se foloseşte cîte un limitator de cursă pentru poziţiile „introdus" şi „extras". Contactele (multiplicate) ale acestora servesc la realizarea schemelor de comandă, protecţie şi semnalizare, astfel ca :

— pe poziţia „introdus" întreruptorul să fie supus comenzilor manuale exterioare şi automate, blocajelor cu alte aparate electrice, iar comenzile de la tabloul în care este montat se vor putea da numai în caz de necesitate (mai ales declanşarea, care, de altfel, se poate realiza şi mecanic) ; blocajele şi comenzile determinate în circuitele altor aparate electrice să fie active ;

— pe poziţia „extras" întreruptorul să nu fie supus comenzilor manuale exterioare şi automate care ar putea să apară în această poziţie şi nici blocajelor exterioare, iar blocajele şi comenzile date în alte circuite să fie anulate.

În felul acesta pe poziţia „extras" se pot face probe electrice şi mecanice, reglarea diferitelor dispozitive şi mecanisme ale întreruptorului, fără pericolul unei anclanşări sau declanşări ce ar putea accidenta personalul ce lucrează la întreruptor şi fără a influenţa alte circuite de comandă — semnalizare.

Totodată, contactele-broşe îndeplinesc funcţia de separator. Întreruptor extras corespunde la separator deschis, întreruptor introdus corespunde la separator închis. Limitatoarele de cursă corespunzătoare poziţiilor întreruptorului îndeplinesc funcţia contactelor auxiliare ale separatorului.

Este necesar totodată ca contactele limitatoarelor de cursă să fie controlate şi deschiderea lor anormală să fie imediat semnalizată personalului de exploatare (ca şi întreruperea circuitelor de comandă).

2.12. Valoarea temporizării treptei a doua (mai mare) a AAR trebuie să fie mai mică decît pauza de tensiune maximă admisă de consumatori ; în caz contrar AAR poate deveni inutil. Treapta a doua trebuie să fie mai mare decît treapta întîi cu un interval de timp determinat de timpii proprii ai întreruptoarelor şi ai releelor de tensiune (la excitare). De asemenea, este util ca treapta întîi să depăşească timpul cu care sînt lichidate acele scurtcircuite din sistemul electric al platformei care produc pornirea AAR. Se evită astfel funcţionarea AAR şi manevrele ulterioare de revenire la alimentarea normală.

În acest caz este indicată utilizarea în întreg sistemul electric al platformei uzinale a protecţiilor rapide (secţionare de curent, protecţie diferenţială longitudinală), care lichidează rapid curenţii mari de scurtcircuit (ce produc scăderi mai mari de tensiune pe bare). În aceste condiţii treapta întîi de temporizare AAR trebuie să depăşească timpul de lichidare a unui scurtcircuit de o protecţie rapidă (0,2 s), plus timpul de excitare a releelor de tensiune minimă (0,1 s). Acoperitor, se poate lua treapta întîi de 0,4—0,5 s, ceea ce reprezintă în general un timp satisfăcător pentru toate utilajele antrenate de motoare asincrone.

2.13. O condiţie esenţială pentru eficacitatea AAR este aceea ca consumatorii alimentaţi de sursa normală înainte de avarierea ei să fie conectaţi la sursa de rezervă după funcţionarea AAR.

## 3. Menţinerea în funcţiune a consumatorilor la variaţii de tensiune de scurtă durată provocate de scurtcircuite sau de funcţionarea AAR. Scheme de comandă adecvate

Se disting următoarele categorii de consumatori :

— consumatori racordaţi la bare prin separator şi siguranţe ;

— consumatori racordaţi la bare prin siguranţe şi contactoare ale căror bobine sînt alimentate la tensiunea de pe bare ;

— consumatori racordaţi la bare prin siguranţe şi contactoare ale căror bobine sînt alimentate de la o sursă independentă de tensiunea de pe bare (baterie de acumulatoare) ;

— consumatori racordaţi la bare prin întreruptoare automate (0,4—6 kV).

În continuare se analizează cele patru categorii de consumatori.

3.1. Consumatorii racordaţi la bare prin separator şi siguranţe (instalaţii electrice de iluminat, fideri spre tablouri secundare etc.) rămîn conectaţi la bare în cazul variaţiilor de tensiune pe bare şi în pauza de AAR (funcţionînd apoi pe sursa de rezervă). Aceşti consumatori satisfac deci condiţia 2.13.

3.2. Consumatorii racordaţi la bare prin siguranţe şi contactoare cu bobină alimentată la tensiunea de pe bare vor fi deconectaţi datorită lipsei de tensiune de comandă (bobinele contactoarelor se dezexcită la tensiuni aplicate mai mici de 0,7 $U_n$).

Pentru aceşti consumatori AAR nu are nici o eficienţă. Acestor consumatori trebuie să li se asigure conectarea (anclanşarea contactoarelor) la bare imediat după conectarea sursei de rezervă. Uneori se utilizează conectarea eşalonată a consumatorilor la sursa de rezervă, în scopul reducerii şocurilor de putere absorbită, pentru a nu deranja sursa de rezervă sau consumatorii deja alimentaţi de aceasta. Conectarea eşalonată a consumatorilor măreşte durata întreruperii pentru consumatorii conectaţi

mai tîrziu, ceea ce diminuează eficiența AAR (trebuie verificat dacă nu o anulează).

Anclanșarea contactoarelor după conectarea alimentării de rezervă se poate realiza astfel:

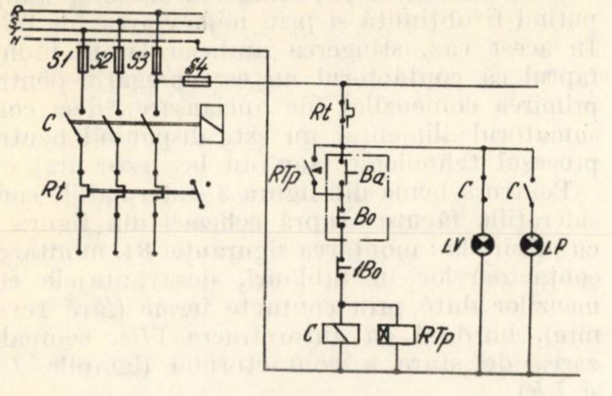


Fig. 2

— prin intermediul instalațiilor de automatizare tehnologică care sesizează scăderea sau creșterea unor parametri și dau comenzile necesare;

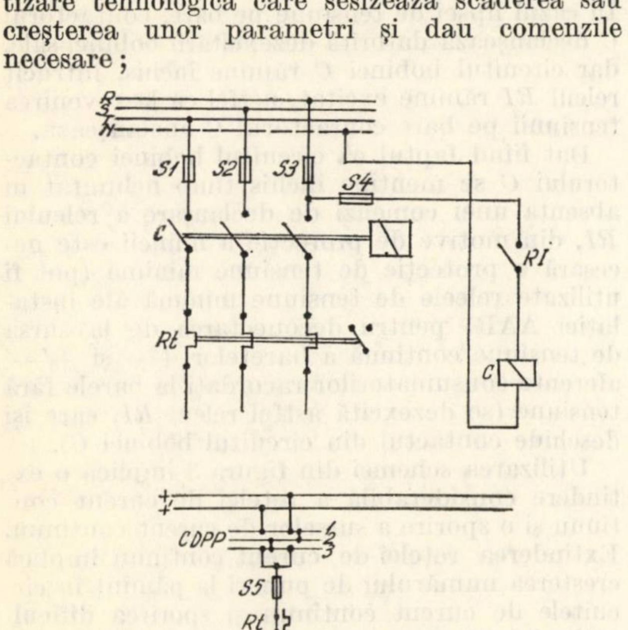


Fig. 3

— cu ajutorul unui releu de timp cu temporizare la dezexcitare (fig. 2);

— cu ajutorul unui releu intermediar avînd tensiunea de comandă de la o sursă independentă de tensiunea de pe bare (fig. 3 și 4);

— cu ajutorul unui releu cu reținere mecanică (fig. 5 și 6).

În schema electrică din figura 2 tensiunea de comandă este luată de la o fază a circuitului de forță, după siguranța din circuitul consumatorului și nul. Protecția la scurtcircuit a cir-

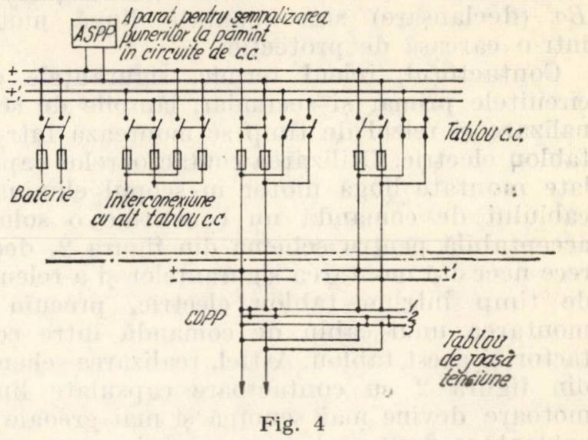



Fig. 4

cuitului secundar se realizează cu o siguranță fuzibilă ($S4$) pentru cazul în care siguranțele din circuitul primar ($S1$, $S2$, $S3$) sînt mai mari de 25 A. Dacă acestea sînt de 25 A, nu mai

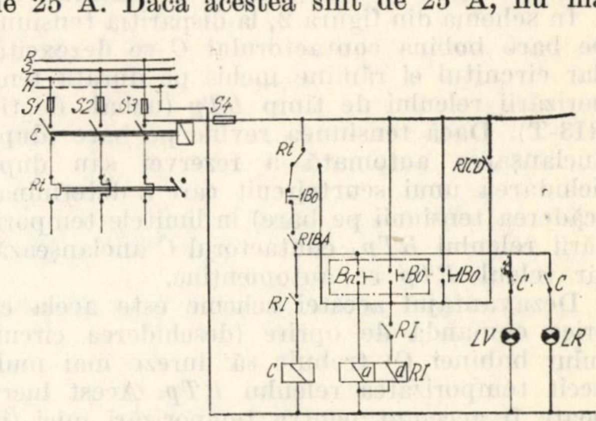


Fig. 5

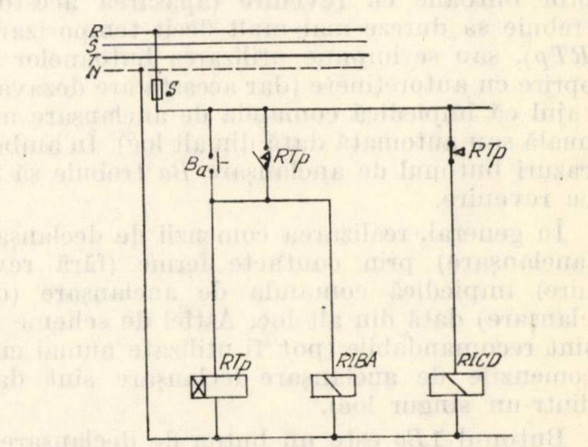


Fig. 6

este necesară $S4$, protecția circuitelor secundare fiind realizată bine de $S3$. Utilizarea unor siguranțe separate nu prezintă avantaje, deoarece circuitul este deconectat atît la arderea

siguranţei din circuitul secundar cît şi a celei din circuitul primar. Utilizarea tensiunii de comandă fază-nul elimină o a doua siguranţă în circuitul secundar.

Butoanele cu revenire *Ba* (anclanşare) şi *Bo* (declanşare) sînt montate lîngă motor, într-o carcasă de protecţie.

Contactorul, releul termic, siguranţele din circuitele primar şi secundar, lămpile de semnalizare şi releul de timp se montează într-un tablou electric. Utilizarea contactoarelor capsulate montate lîngă motor în scopul eliminării cablului de comandă nu constituie o soluţie acceptabilă pentru schema din figura 2, deoarece necesită montarea siguranţelor şi a releului de timp într-un tablou electric, precum şi montarea unui cablu de comandă între contactor şi acest tablou. Astfel, realizarea schemei din figura 2 cu contactoare capsulate lîngă motoare devine mai scumpă şi mai greoaie în exploatare decît realizarea acestuia cu contactoare montate în tablourile cu siguranţe. Prin aceasta se realizează şi centralizarea comenzilor, ceea ce facilitează interblocările, automatizările şi supravegherea funcţionării instalaţiilor.

În schema din figura 2, la dispariţia tensiunii pe bare bobina contactorului *C* se dezexcită, dar circuitul ei rămîne închis pe durata temporizării releului de timp *RTp* (uzual de tip RI3-T). Dacă tensiunea revine pe bare (după anclanşarea automată a rezervei sau după lichidarea unui scurtcircuit care a determinat scăderea tensiunii pe bare) în limitele temporizării releului *RTp*, contactorul *C* anclanşează, iar releul *RTp* se automenţine.

Dezavantajul acestei scheme este acela că orice comandă de oprire (deschiderea circuitului bobinei *C*) trebuie să dureze mai mult decît temporizarea releului *RTp*. Acest lucru poate fi acceptat pentru temporizări mici (în general pînă la 2 s), în cazul comenzii de oprire prin butoane cu revenire (apăsarea acestora trebuie să dureze mai mult decît temporizarea *RTp*), sau se impune utilizarea butoanelor de oprire cu autoreţinere (dar aceasta are dezavantajul că împiedică comanda de anclanşare manuală sau automată dată din alt loc). În ambele cazuri butonul de anclanşare *Ba* trebuie să fie cu revenire.

În general, realizarea comenzii de declanşare (anclanşare) prin contacte ferme (fără revenire) împiedică comanda de anclanşare (declanşare) dată din alt loc. Astfel de scheme nu sînt recomandabile (pot fi utilizate numai cînd comenzile de anclanşare-declanşare sînt date dintr-un singur loc).

Butonul 1*Bo* este un buton de declanşare şi blocaj al anclanşării montat pe tabloul de alimentare. Acest buton este cu autoreţinere.

Lămpile *LV* şi *LR* indică poziţia contactelor principale ale contactorului. Dacă circuitul este defect (siguranţe arse, releul termic a funcţionat), nici una dintre lămpi nu arde. Stingerea ambelor lămpi indică o defecţiune a circuitului (sau existenţa unui bec ars).

Într-o altă variantă se poate înseria butonul 1*Bo* cu contactul *Rt*, stingerea ambelor lămpi putînd fi obţinută şi prin manevrarea lui 1*Bo*. În acest caz, stingerea ambelor lămpi indică faptul că contactorul nu este pregătit pentru primirea comenzilor (de anclanşare), deci consumatorul alimentat nu este disponibil pentru procesul tehnologic (sau un bec este ars).

Pentru schema din figura 3 sînt valabile consideraţiile făcute asupra schemei din figura 2 cu privire la : montarea siguranţei *S*4, montarea contactoarelor în tablouri, dezavantajele comenzilor date prin contacte ferme (fără revenire), butonul cu autoreţinere 1*Bo*, semnalizarea de stare a contactorului (lămpile *LV* şi *LR*).

Tensiunea de comandă este asigurată de o sursă independentă de tensiunea de pe bare, această sursă fiind o baterie de acumulatoare. În cazul lipsei de tensiune pe bare, contactorul *C* declanşează datorită dezexcitării bobinei sale, dar circuitul bobinei *C* rămîne închis, întrucît releul *RI* rămîne excitat, astfel că la revenirea tensiunii pe bare contactorul *C* anclanşează.

Dat fiind faptul că circuitul bobinei contactorului *C* se menţine închis timp nelimitat în absenţa unei comenzi de declanşare a releului *RI*, din motive de protecţie a muncii este necesară o protecţie de tensiune minimă (pot fi utilizate releele de tensiune minimă ale instalaţiei AAR) pentru deconectarea de la sursa de tensiune continuă a baretelor $+-$ şi $+'-'$ aferente consumatorilor racordaţi la barele fără tensiune (se dezexcită astfel releul *RI*, care îşi deschide contactul din circuitul bobinei *C*).

Utilizarea schemei din figura 3 implică o extindere considerabilă a reţelei de curent continuu şi o sporire a surselor de curent continuu. Extinderea reţelei de curent continuu implică creşterea numărului de puneri la pămînt în circuitele de curent continuu şi sporirea dificultăţii de detectare şi de eliminare a acestora (altfel funcţionarea reţelei de curent continuu nu ar fi posibilă în condiţii bune).

Apariţia punerilor la pămînt într-o reţea de curent continuu este semnalizată personalului de exploatare de releele speciale, montate în tablourile de curent continuu. Detectarea circuitului pe care a apărut o punere la pămînt se poate face :

— Prin deconectarea circuitelor în cazul în care aceasta este admisă (metoda se poate aplica circuitelor de iluminat de siguranţă alimentate în curent continuu de la bateria de acumulatoare).

— Prin utilizarea a două surse independente de curent continuu şi trecerea unui receptor de curent continuu, fără întrerupere, de la o sursă la cealaltă ; acest procedeu se utilizează pentru

receptoarele care nu admit întrerupere şi se realizează astfel (fig. 4):

— în fiecare tablou de curent continuu se montează două sisteme de bare, unul servind la alimentarea consumatorilor (+ —), celălalt la detectarea punerilor la pămînt în circuitele de curent continuu (+′ —′);

— tablourile de curent continuu se interconectează între ele; uzual se constituie o buclă pe platforma uzinală (fiecare tablou de curent continuu se interconectează cu altele două. Prin aceasta o sursă de curent continuu o constituie bateria în paralel cu redresorul propriu, racordate la sistemul de bare (+ —), iar cealaltă sursă este o interconexiune (din cele două) conectată la sistemul de bare (+′ —′). Această soluţie tehnică are şi avantajul că fiecare interconexiune se poate conecta şi la sistemul de bare (+ —), constituind sursa de rezervă (bateria de acumulatoare de rezervă), pentru cazul în care bateria proprie este defectă sau se află în regim de încărcare. Spre sfîrşitul încărcării, cînd tensiunea de încărcare depăşeşte tensiunea maximă admisă de consumatorii racordaţi la barele (+ —), se conectează la barele (+ —) o interconexiune pentru a avea sursa de avarie (bateria de acumulatoare racordată la tabloul de curent continuu cu care s-a făcut interconexiunea), iar bateria proprie este încărcată pînă la sfîrşit cu redresorul propriu. Acest procedeu are avantajul eliminării prizei intermediare şi al încărcării uniforme a tuturor elementelor de acumulator;

— fiecare plecare din tabloul de curent continuu care necesită detectarea punerilor la pămînt în circuitele de curent continuu fără întreruperi poate fi conectată şi la sistemul de bare (+′ —′) şi prin aceasta la a doua sursă de curent continuu (o interconexiune). Plecările din tabloul de curent continuu se conectează cîte una pe barele (+′ —′) şi se urmăreşte indicaţia aparatului de semnalizare a punerilor la pămînt în circuitele de curent continuu. Pentru ca trecerea de la o sursă de curent continuu la alta să se realizeze fără întreruperea alimentării consumatorului de curent continuu, se închide întreruptorul de conectare pe barele (+′ —′) şi apoi se deschide întreruptorul de conectare pe barele (+ —). Deoarece plecările de curent continuu se conectează pe barele (+′ —′) cîte una, nu se mai prevăd siguranţe pe legăturile la aceste bare. Circuitele sînt protejate de siguranţele montate pe interconexiuni, pe durata conectării la barele (+′ —′). În circuitele de interconexiune se prevăd siguranţe atît pe legăturile la barele (+ —), cît şi pe legăturile la barele (+′ —′);

— în tablourile de joasă tensiune se prevăd două sisteme de barete: (+ —) şi (+′—′), fiecare avînd o alimentare din tabloul de curent continuu.

Pentru detectarea punerilor la pămînt în circuitele de curent continuu din tabloul de joasă tensiune, cele două alimentări se conectează în tabloul de curent continuu la cîte una din cele două surse separate. Prin aceasta, în tabloul de joasă tensiune se realizează două surse de curent continuu separate. La sosirea în tabloul de joasă tensiune se pot monta contactoare de curent continuu comandate de protecţia de tensiune minimă pe barele de curent alternativ, în scopul deconectării motoarelor electrice la lipsa prelungită de tensiune în circuitele primare (prin deconectarea baretelor de comandă). Acest lucru trebuie realizat pentru fiecare secţie de bare de curent alternativ. În cazul utilizării unei centrale de siguranţă cu distribuţia energiei pe căile normale, la un sistem de barete se pot conecta consumatorii vitali (ce primesc alimentare de la centrala de siguranţă), iar ceilalţi consumatori, la celălalt sistem de barete, urmînd ca acest din urmă sistem de barete să fie deconectat automat la pornirea centralei de siguranţă.

În toate cazurile, un sistem de barete cu alimentarea lui constituie rezerva celuilalt.

— în tablourile de joasă tensiune, pe circuitul de comandă şi de semnalizare al fiecărei plecări de la barele de curent alternativ, se prevede o cheie *CDPP* (cheia de detectare a punerilor la pămînt), care asigură trecerea alimentării circuitului respectiv de la un sistem de barete (o sursă de curent continuu) la celălalt (cealaltă sursă de curent continuu) fără întrerupere. Diagrama cheii rezultă din figura 4. La trecerea fiecărui circuit de comandă de la o sursă la cealaltă se urmăreşte indicaţia aparatului de semnalizare a punerilor la pămînt în circuite de curent continuu.

Funcţionarea acestuia trebuie semnalată în toate tablourile de joasă tensiune pe care le alimentează cu tensiune de comandă.

Din cele expuse mai sus rezultă că reţeaua de curent continuu ia o amploare considerabilă, necesitînd cheltuieli de investiţie corespunzătoare, iar exploatarea acestei reţele de curent continuu este destul de dificilă. Totuşi trebuie remarcat ca un avantaj faptul că prima punere la pămînt nu scoate din funcţiune circuitul în care a apărut (nu reprezintă un scurtcircuit).

În schema din figura 5 este utilizat releul cu autoreţinere mecanică tip RI-7. La excitarea bobinei *a*, releul anclanşează şi rămîne blocat printr-un clichet în poziţia anclanşat.

Declichetarea şi declanşarea prin resort se realizează prin excitarea celei de-a doua bobine *d*.

Considerentele făcute asupra schemelor din figurile 2 şi 3, privind montarea siguranţei *S*4 şi centralizarea contactoarelor în tablouri, rămîn valabile şi pentru schema din figura 5.

Butoanele de comandă locală, de anclanşare *Ba* şi de declanşare *Bo*, au contacte normal deschise. Butonul de declanşare de pe faţa

tabloului este cu autoreţinere şi are rolul de a declanşa contactorul, de a bloca anclanşarea contactorului şi a releului *RI*.

Semnalizarea de stare a contactorului, realizată cu lămpile *LV* şi *LR*, indică totodată că contactorul este aservit comenzii exterioare (rămîne de dat doar comanda de anclanşare), dacă arde una dintre lămpi, şi nu este aservit comenzii exterioare, dacă ambele lămpi sînt stinse (sau există un bec ars).

Releele *RIBA* şi *RICD* servesc la declanşarea contactoarelor şi la blocajul anclanşării lor după o lipsă prelungită de tensiune pe bare (fig. 6). La lipsa prelungită de tensiune pe bare, releul de timp cu bobina de curent alternativ se dezexcită şi, cu temporizare, deschide contactul din circuitul bobinei releului *RIBA* şi închide contactul din circuitul bobinei releului *RICD*. Dacă tensiunea revine pe bare după un timp mai scurt decît temporizarea releului *RTp*, releul *RIBA* se excită, iar releul *RICD* rămîne neexcitat în continuare.

La contactoarele care au fost anclanşate înainte de dispariţia tensiunii pe bare, contactul *RI* din circuitul bobinei *C* este închis pe durata lipsei de tensiune (datorită autoreţinerii mecanice), astfel încît închiderea contactului *RIBA* determină reanclanşarea contactorului. În cazul în care durata lipsei de tensiune pe bare depăşeşte temporizarea releului *RTp*, acesta îşi deschide contactul din circuitul bobinei *RIBA* şi îşi închide contactul din circuitul bobinei *RICD*. La revenirea tensiunii pe bare contactorul rămîne declanşat, datorită contactului *RIBA* (deşi contactul *RI* este închis), iar contactul *RICD* comandă declanşarea (revenirea la poziţia iniţială) releului *RI*. Repunerea în funcţiune a schemelor de comandă şi semnalizarea după revenirea tensiunii pe bare se realizează cu butonul *Ba* din figura 6.

Din cele de mai sus rezultă că sînt necesare pentru fiecare motor cîte un contact *RIBA* şi un contact *RICD*, iar pentru fiecare secţie de bare cîte un releu *RTp*, a cărui bobină are şi funcţia protecţiei de minimă tensiune (se dezexcită la aproximativ 0,7 $U_n$).

Pentru a obţine deconectarea motoarelor la valori mai mari ale tensiunii remanente pe bare, se poate utiliza un releu de tensiune minimă (dar acest lucru nu este necesar pentru motoarele asincrone), iar pentru valori mai mici este necesară în plus o sursă de tensiune pentru releul *RTp*, independentă de tensiunea pe bare. Temporizarea releului *RTp* se alege în funcţie de condiţiile locale (de exemplu, mai mare decît timpul necesar alimentării consumatorilor vitali de la centrala de siguranţă).

Avînd în vedere comenzile de declanşare a releului *RI* de lungă durată, date prin contactele 1*Bo* şi *RICD*, pentru a nu ţine sub tensiune bobina *d* a releului *RI* s-a introdus în circuitul acesteia contactul *RI*. Avantajul schemei este acela că se utilizează pentru comenzile de anclanşare şi de declanşare impulsuri (contacte cu revenire). În acest fel numărul comenzilor nu este limitat. Este de remarcat faptul că prezenţa a două comenzi simultane, una de anclanşare, cealaltă de declanşare, are ca efect menţinerea releului *RI* anclanşat (la fel şi contactorul). Este deci necesar să se evite simultaneitatea comenzilor de anclanşare cu cele de declanşare.

Această schemă, împreună cu utilizarea schemelor de AAR avînd tensiunea de pe bare ca tensiune de comandă, duce la eliminarea curentului continuu din tablourile de joasă tensiune.

Avînd în vedere cele de mai sus, schema din figura 5 este preferabilă schemelor din figurile 2 şi 3. În plus, pentru a asigura conectarea eşalonată a motoarelor electrice, releele *RIBA* pot fi temporizate diferit pe grupe de motoare electrice.

3.3. În continuare se consideră cazul consumatorilor alimentaţi prin contactoare ale căror bobine sînt alimentate cu tensiune de comandă independentă de tensiunea de pe bare. Sursa de tensiune de comandă este bateria de acumulatoare. Contactoarele trebuie deci să aibă bobină de curent continuu. La lipsa de tensiune pe bare, contactoarele rămîn anclanşate pînă la conectarea sursei de rezervă. Aceasta are avantajul alimentării motorului cu tensiunea remanentă de pe bare, ceea ce are ca efect o reducere mai mică a turaţiei pînă la conectarea sursei de rezervă prin AAR şi, deci, uşurarea autopornirii motoarelor. În comparaţie cu contactoarele cu bobină în curent continuu, contactoarele cu bobină în curent alternativ (schemele din figurile 2, 3 şi 5) declanşează la tensiuni remanente pe bare sub 0,7 $U_n$, tensiunea la motoare fiind nulă. Aceasta duce la o reducere mai mare a turaţiei motoarelor pe durata pauzei de AAR, deci determină condiţii mai grele de autopornire. Acest dezavantaj este sensibil redus de funcţionarea AAR cu temporizare mică (0,5—0,6 s).

La lipsa prelungită de tensiune pe bare, contactoarele trebuie să fie deconectate prin protecţia de tensiune minimă (aceasta poate deconecta alimentarea baretelor de comandă). Cele de mai sus trebuie realizate pentru fiecare secţie de bare. O schemă de comandă a unui contactor cu bobină în curent continuu este dată în figura 7.

Consideraţiile referitoare la detectarea punerilor la pămînt, la butonul cu autoreţinere 1*Bo* şi la conectarea lămpilor de semnalizare *LV* şi *LR*, făcute asupra schemei din figura 3, sînt valabile şi pentru schema din figura 7. În această schemă apare, ca element nou, rezistenţa *r*, de stabilizare termică (economi-

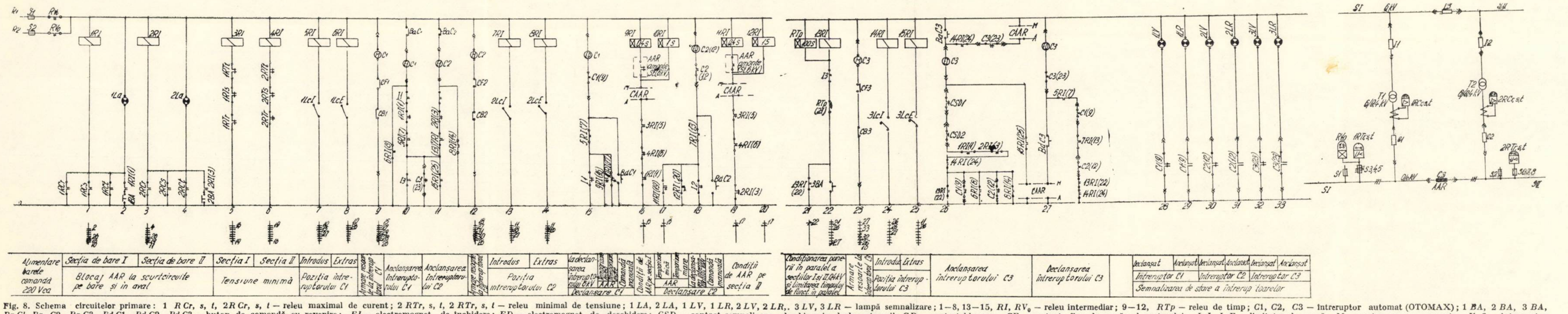
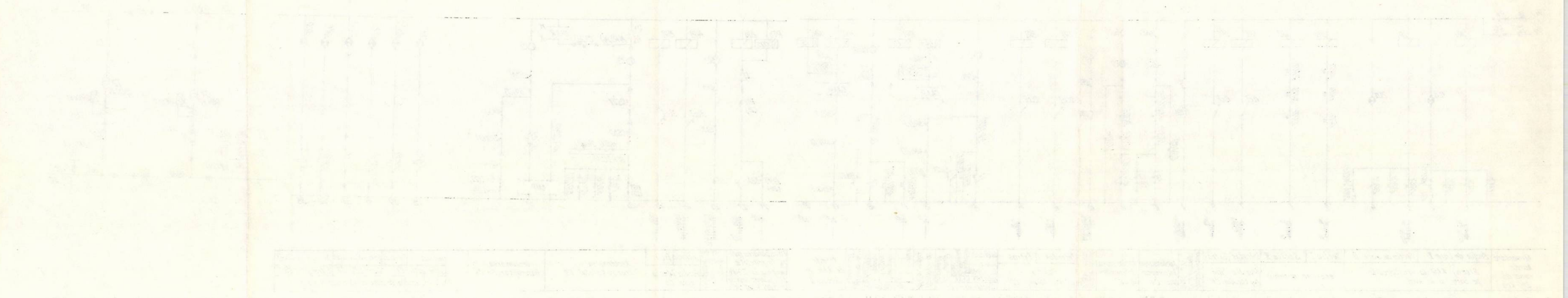



Fig. 8. Schema circuitelor primare: 1 *R Cr, s, t*, 2*R Cr, s, t* — releu maximal de curent; 2 *RTr*, s, *t*, 2 *RTr, s, t* — releu minimal de tensiune; 1 *LA*, 2 *LA*, 1 *LV*, 1 *LR*, 2 *LV*, 2 *LR*,. 3 *LV*, 3 *LR* — lampă semnalizare; 1—8, 13—15, *RI*, $RV_0$ — releu intermediar; 9—12, *RTp* — releu de timp; *C*1, *C*2, *C*3 — întreruptor automat (OTOMAX); 1 *BA*, 2 *BA*, 3 *BA*, *Ba Cl*, *Ba* C2, *Ba* C3, *Bd* C1, *Bd* C2, *Bd* C3 — buton de comandă cu revenire; *EI* — electromagnet de închidere; *ED* — electromagnet de deschidere; *CSD* — contact semnalizare ,,deschis prin declanșatoare''; *CB* — contact blocare; *CF* — contact fine de cursă al motorului; *LcI, LcE* — limitator de cursă; *M* — motor armare resoarte; *I*1, 2 — întreruptor automat (*I*0—15).



zoare), care este înseriată cu bobina contactorului, după anclanşarea acestuia, pentru a asigura stabilitatea termică a bobinei. La anclanşare, rezistenţa este şuntată şi întreaga tensiune de comandă se aplică bobinei, determinînd reducerea timpului de anclanşare.

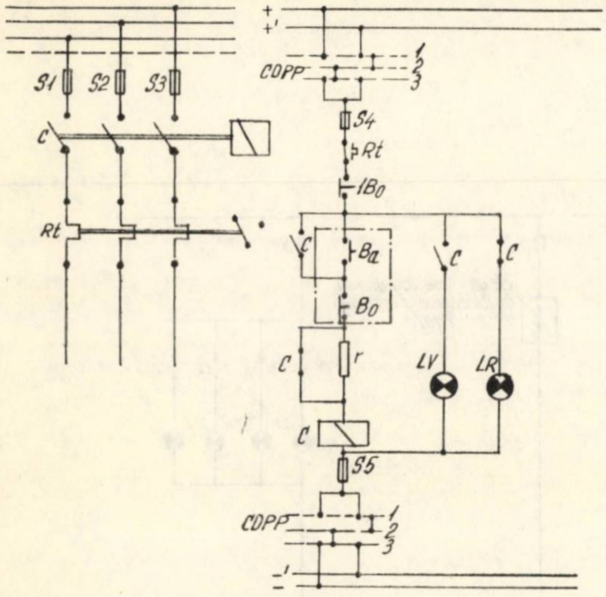



Fig. 7

Această schemă de conectare a rezistenţei *r* este utilizabilă atît în cazul comenzilor de anclanşare prin impulsuri, cît şi în cazul comenzilor de anclanşare de durată mai lungă (contacte ferme). Pentru cazul comenzilor de anclanşare date numai prin impulsuri se poate conecta rezistenţa *r* în serie cu contactul de automenţinere *C*. La pornire rezistenţa *r* este şuntată de contactul butonului de anclanşare *Ba*. Utilizarea contactoarelor cu bobină de curent continuu are dezavantajul sporirii consumului de curent continuu (15—50 W pe bobină) faţă de schema din figura 3 (8 W pe bobina releului intermediar). De asemenea, schema din figura 7 utilizează mai multe contacte auxiliare ale contactorului : 2 *CND* + 2 *CNI*, reprezentînd toate contactele auxiliare cu care se echipează în mod normal contactoarele. În cazul în care sînt necesare şi alte contacte auxiliare, este nevoie de un releu intermediar pentru multiplicare, ceea ce măreşte costul investiţiei. Totodată trebuie menţionat faptul că fabricarea în R.S. România a contactoarelor de curent alternativ cu bobina în curent continuu este limitată la curentul nominal de 40 A. Contactoarele de acest tip cu curenţi nominali mai mari de 40 A trebuie procurate din import. Din aceste motive schema din figura 7 este mai puţin recomandabilă.

3.4. O altă categorie de consumatori o reprezintă consumatorii alimentaţi prin întreruptoare automate. În general, acţionarea acestora se realizează cu o sursă de energie independentă de tensiunea pe bare (resort, aer comprimat, curent continuu). Operaţiile de anclanşare şi de declanşare se realizează prin excitarea bobinelor unor electromagneţi de anclanşare şi de declanşare. În lipsa comenzilor respective, poziţia contactelor principale ale întreruptorului nu se modifică. Pentru acestea, dispariţia tensiunii pe bare nu duce la declanşare şi, la funcţionarea AAR, consumatorii alimentaţi rămîn conectaţi la bare.

La lipsa prelungită de tensiune este necesară declanşarea întreruptoarelor motoarelor prin protecţia de tensiune minimă.

Este de remarcat faptul că unele întreruptoare au o bobină de tensiune minimă ce determină declanşarea. Această bobină trebuie blocată mecanic. În această categorie de consumatori intră motoarele de 6 kV şi motoarele de joasă tensiune, la care nu se pot utiliza siguranţe fuzibile pentru protecţia la scurtcircuite, datorită curentului de pornire mare (la 0,4 kV, motoare peste 125 kW). Întreruptoarele automate de joasă tensiune de tip OTOMAX fabricate de I.I.S. „Electroaparataj" Bucureşti au relee primare magnetotermice pentru protecţia la scurtcircuite şi suprasarcină şi posedă o putere de rupere satisfăcătoare pentru toate cazurile întîlnite în practică.

În concluzie utilizarea schemelor propuse mai sus permite menţinerea în funcţiune a consumatorilor la scăderi de tensiune sau la întreruperi de scurtă durată produse de scurtcircuite sau de funcţionarea AAR în interiorul combinatului chimic, precum şi la cele produse de scurtcircuite, funcţionarea AAR şi RAR în sistemul energetic naţional. În consecinţă, se evită oprirea procesului tehnologic în aceste situaţii.

## 4. Exemple de scheme de AAR în concordanţă cu principiile enunţate în paragrafele 2 şi 3. Un caz particular : AAR reversibil

Pentru exemplificarea aplicării consideraţiilor de mai sus asupra AAR, în figura 8 este dată o schemă de AAR într-un tablou general de joasă tensiune al unui post de transformare de 6/0,4 kV cu două transformatoare. Similar se pot concepe scheme de AAR pentru staţii de 6 kV cu două secţii de bare şi cuplă longitudinală (AAR pe cuplă), cu două sisteme de bare şi cuplă transversală (AAR pe cuplă).

Un caz particular de AAR îl reprezintă AAR la tablourile electrice cu un sistem de bare şi două alimentări (AAR între alimentări). Particularitatea constă în faptul că aceste AAR pot fi făcute reversibile : trecerea de pe o alimentare pe alta se realizează automat, oricare alimentare putînd fi rezerva celeilalte.

Astfel, după reparaţia alimentării defecte, aceasta se pune sub tensiune, devenind automat

rezerva alimentării în funcţiune. În figura 9 este dată o schemă de AAR pentru un tablou cu contactoare pe alimentări. Acesta este cazul tablourilor generale de iluminat. Pentru tablourile de forţă cu putere absorbită mai mare

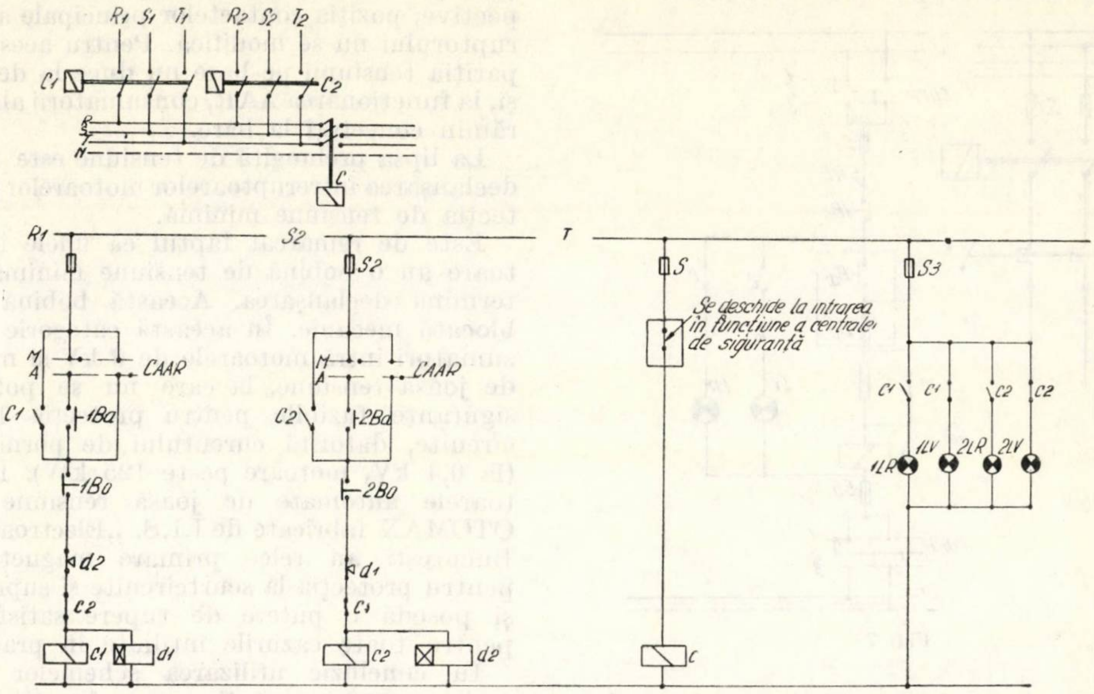



Fig. 9

de 200 kW, la 0,4 kV (curent cerut mai mare de 400 A) se prevăd întreruptoare automate pe alimentările tabloului.

Alimentarea sistemului de bare *RST* se realizează iniţial prin închiderea manuală a contactorului *C*1 (sau *C*2), cheia *C* AAR fiind pe poziţia *M* (manual). Apoi se roteşte *C* AAR pe poziţia *A* (automat). La lipsa de tensiune pe alimentarea *1* (*2*) se dezexcită contactorul *C*1 (*C*2) (bobina are funcţia protecţiei de tensiune minimă) şi îşi închide contactul în circuitul bobinei *C*2 (*C*1). Dacă există tensiune pe alimentarea *C*2 (*C*1), contactorul *C*2 (*C*1) se închide, alimentînd sistemul de bare *RST* şi blocînd prin contactul său auxiliar anclanşarea contactorului *C*1 (*C*2). Releele de timp cu temporizare la revenire repetă poziţia contactorului, dar cu întîrziere, realizînd astfel temporizarea funcţionării AAR (dacă este necesară).

În cazul alimentării unei părţi din instalaţia de iluminat de la centrala de siguranţă, restul instalaţiei de iluminat este deconectat prin contactorul *C* prevăzut pe barele tabloului general de iluminat. Trebuie menţionat că la un defect pe faza *R* se arde siguranţa pe faza *R*1 (dacă *C*1 este închis). Bobina lui *C*1 fiind conectată la faza *R*1 se dezexcită şi *C*1 declanşează. Prin AAR anclanşează *C*2 şi se arde siguranţa pe faza *R*2. Conectarea bobinei lui *C*2 pe faza *S*2 permite menţinerea contactorului *C*2 anclanşat şi funcţionarea tabloului de iluminat cu cele două faze sănătoase.

În cazul unor defecte pe fazele *S*, *T*, se ard siguranţele de pe fazele *S*1, *T*1, contactorul *C*1 rămînînd anclanşat. Funcţionarea continuă şi în acest caz cu faza sănătoasă.

**5. Utilizarea unei protecţii de tensiune minimă care valorifică complet posibilităţile de menţinere în sincronism a motoarelor sincrone la scăderea de tensiune pe bare**

În continuare sînt analizate unele măsuri care au ca efect îmbunătăţirea alimentării cu energie electrică a unor consumatori. Una dintre aceste măsuri este realizarea unei protecţii de tensiune minimă pentru motoarele sincrone, care să urmărească mai corect posibilităţile de menţinere în funcţiune a motoarelor la tensiuni mai mici decît tensiunea nominală. Curbele care indică timpul de funcţionare la tensiune redusă (cu condiţia ca la sfîrşitul intervalului de timp tensiunea să revină la valoarea nominală) sînt date de unele fabrici constructoare de motoare sincrone şi au forma din figura 10 (curba *3*). Timpul de funcţionare a protecţiei de tensiune minimă trebuie să fie cel corespunzător tensiunii pe bare, pe curba *3* din figura 10. Pentru aceasta este necesar ca protecţia de tensiune minimă să fie realizată cu relee speciale, care să asigure dependenţa tim-

pului de funcţionare de tensiunea pe bare, conform curbei *3* din figura 10. Un astfel de releu este fabricat de firma Siemens — R.F. a Germaniei, sub denumirea de releu de protecţie, la revenirea tensiunii pentru motoare

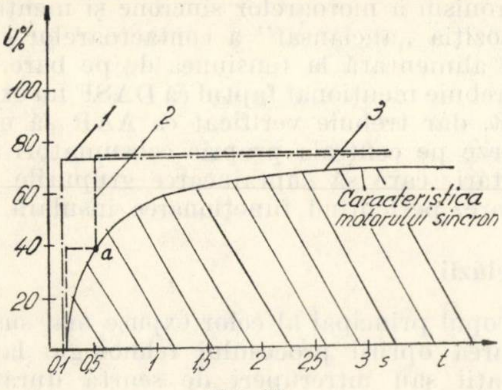



Fig. 10.

electrice trifazice tip 7RG15. Cu acest releu se pot obţine mai multe curbe de funcţionare printr-un reglaj continuu, ca cel din figura 11. (Pentru informaţii detaliate se va consulta prospectul firmei.) Este important de remarcat faptul că la releul Siemens mărimea *U* din diagramă reprezintă componenta directă a tensiunii pe bare (releul are un filtru de componente simetrice), care determină, de fapt, cuplul motor al motorului sincron.

În prezent protecţia de minimă tensiune utilizată la motoare sincrone este realizată în majoritatea cazurilor cu relee de tensiune minimă şi este netemporizată. În figura 10 este redată caracteristica tensiune — timp a funcţionării acestei protecţii (curba *1*). Zona haşurată indică domeniul în care motorul sincron nu mai poate continua funcţionarea, deci protecţia lui de tensiune trebuie să-l deconecteze. Zona ne-

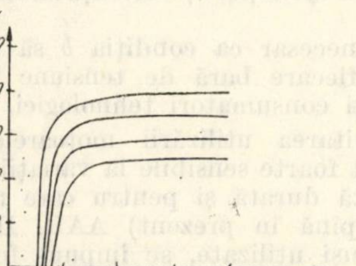



Fig. 11

haşurată reprezintă domeniul în care protecţia nu trebuie să comande deconectarea motorului. Zona de acţionare a protecţiei este cea cuprinsă între curba ei de funcţionare şi axa timpului. Funcţionarea corectă a protecţiei de tensiune minimă se obţine cînd zona de acţionare a protecţiei coincide cu zona haşurată, deci cînd caracteristica protecţiei coincide cu caracteristica motorului. Dacă această coincidenţă nu se poate realiza, este necesar ca zona de acţionare a protecţiei să acopere întreaga zonă haşurată. Satisfăcînd această condiţie, curba *1* a protecţiei de tensiune minimă cu o singură treaptă de tensiune (şi netemporizată) acoperă o mare parte din zona nehaşurată, declanşînd motorul sincron fără a fi necesar. Pentru ca în zona de acţionare a protecţiei să intre o parte mai mică din zona nehaşurată, se pot utiliza două (sau mai multe) trepte de tensiune şi de timp. Funcţionarea unei astfel de protecţii este redată de curba *2* pentru două trepte de tensiune (şi o temporizare). Releele de tensiune reglate la 40% $U_n$ comandă declanşarea netemporizată (intervine doar timpul propriu al releelor) pentru toate tensiunile pe bare mai mici de 40% $U_n$. Releele reglate la limita de tensiune admisă de motorul sincron pentru un timp îndelungat (1—2 min), după care apar încălziri periculoase ale înfăşurărilor, comandă declanşarea cu temporizare pentru tensiuni mai mari de 40% $U_n$. Temporizarea aleasă trebuie să corespundă punctului *a* din figura 10. Utilizarea protecţiei de tensiune minimă cu caracteristica dependentă de timp este de mare utilitate în cazul folosirii bobinelor de reactanţă pe plecările staţiei de la care se alimentează motoarele sincrone. La scurtcircuite după bobinele de reactanţă, tensiunile remanente pe bare permit menţinerea în funcţiune a motoarelor sincrone racordate, pe durata lichidării scurtcircuitelor respective de protecţiile prin relee. Protecţia de tensiune minimă trebuie să funcţioneze corespunzător.

Un dezavantaj al protecţiei de tensiune minimă realizată cu relee de tensiune minimă şi de timp este acela că funcţionează în raport cu tensiunea cea mai mare dintre cele trei tensiuni pe fază (sau între faze) şi nu în raport cu componenta directă a tensiunii care determină cuplul motor. (Releele de tensiune se montează pe toate trei fazele şi au contacte în serie ; impulsul de comandă apare cînd toate releele au funcţionat.)

În cazul utilizării aceleiaşi protecţii de tensiune minimă pentru un grup de motoare sincrone care nu au aceeaşi caracteristică, curba de funcţionare a protecţiei trebuie să acopere caracteristicile tuturor motoarelor, ceea ce dezavantajează motoarele sincrone, mai puţin sensibile la scăderi de tensiune. În general, utilizarea unei singure protecţii de tensiune minimă pentru motoarele sincrone racordate la o secţie de bare este satisfăcătoare.

### 6. Utilizarea tratării neutrului în reţeaua de 6 kV pentru mărirea gradului de continuitate în alimentarea cu energie electrică

O altă măsură utilă îmbunătăţirii alimentării cu energie electrică a consumatorilor unui combinat chimic este compensarea curenţilor

capacitivi de punere la pămînt în rețeaua de 6 kV. Avantajele sînt : reducerea distrugerilor provocate la locul defectului de arcul electric, creșterea probabilității de stingere a arcului electric (deci dispariția punerii la pămînt și menținerea în funcțiune a circuitului defect).

În general curenții capacitivi de punere la pămînt în rețeaua de 6 kV depășesc 10 A, datorită întinderii considerabile a rețelei de cabluri de 6 kV, ceea ce face necesară compensarea lor prin montarea bobinelor de stingere (cîte una pentru fiecare transformator de 110/6 kV). Detectarea punerilor la pămînt în rețeaua de 6 kV compensată impune utilizarea unor relee speciale, care se fabrică la I.R.M.E., și anume : RDT (releu direcțional de procese tranzitorii) și ISP (indicator pentru semnalizarea punerilor la pămînt).

### 7. Funcționarea insulară a sistemului energetic al combinatului chimic

În cele ce urmează se vor face cîteva considerații asupra unui caz particular, al unui sistem electroenergetic al unui combinat chimic. Este vorba de combinatul chimic care are o centrală electrică proprie, cu putere apropiată de puterea consumată de platforma uzinală. În acest caz la căderea totală a alimentării din sistemul energetic național, este posibilă menținerea în funcțiune a unei părți mari din instalațiile tehnologice. Pentru separarea automată a sistemului energetic al combinatului de sistemul energetic național și pentru sacrificarea unor consumatori se utilizează o instalație de descărcare automată a sarcinii, în funcție de frecvență (DASF). În general se prevăd mai multe tranșe de sacrificiu, pentru a putea ține seama de puterea disponibilă a centralei proprii. Reglajul frecvenței de pornire a DASF trebuie să aibă în vedere faptul că la scăderea frecvenței scade turația motoarelor electrice și efectul dependent de turație al utilajelor antrenate (de exemplu, debitul și presiunea pompelor, ventilatoarelor), ceea ce poate duce la oprirea procesului tehnologic. Totodată, este util ca acțiunea DASF din combinatul chimic să fie corelată cu acțiunea DASF din sistemul energetic național (prin reglajele adoptate).

Pe durata funcționării insulare a sistemului energetic al combinatului trebuie asigurat echilibrul consum-producție, atît pe partea electrică, cît și pe cea termică, deoarece, pe de o parte, generatoarele electrice sînt cuplate cu turbine cu contrapresiune sau cu condensație și priză reglabilă, la care puterea electrică este dependentă de debitul de abur, iar, pe de altă parte, menținerea în funcțiune a proceselor tehnologice necesită o anumită putere electrică și un anumit debit de abur. De asemenea, o problemă importantă este asigurarea apei de răcire, pentru care trebuie prevăzut un circuit separat de cel al instalațiilor tehnologice oprite pe durata funcționării insulare.

Un avantaj important îl constituie faptul că pentru consumatorii nesacrificați nu apare o întrerupere în alimentare (ca în cazul funcționării AAR), ceea ce permite menținerea în sincronism a motoarelor sincrone și menținerea în poziția „anclanșat” a contactoarelor cu bobina alimentată la tensiunea de pe bare.

Trebuie menționat faptul că DASF nu exclude AAR, dar trebuie verificat ca AAR să nu conecteze pe centrala proprie consumatori suplimentari, care să supraîncarce grupurile generatoare, periclitînd funcționarea insulară.

### Concluzii

Scopul principal al celor expuse mai sus este evitarea opririi procesului tehnologic la perturbații sau întreruperi de scurtă durată în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor tehnologici.

În rezumat, măsurile propuse pentru a fi adoptate sînt :

a) Utilizarea schemelor de comandă descrise în paragraful 3, pentru menținerea în funcțiune (conectați la bare) a consumatorilor racordați prin contactoare cu bobina de curent alternativ, în cazul scăderilor sau al lipsei de tensiune provocate de scurtcircuite, funcționarea AAR și a RAR care au loc atît în sistemul energetic al combinatului, cît și în sistemul energetic național (indiferent dacă este sau nu avariată calea de alimentare a barei la care sînt racordați consumatorii considerați).

b) Utilizarea a două surse independente, una în funcțiune, cealaltă în rezervă, și a AAR, pentru a asigura realimentarea consumatorilor într-un timp acceptabil de scurt, pentru a evita oprirea procesului tehnologic, în cazul avarierii căii de alimentare normală. Fără satisfacerea concomitentă a condiției *a*, eficiența AAR este practic nulă.

Este necesar ca condiția *b* să fie realizată pentru fiecare bară de tensiune la care sînt racordați consumatori tehnologici.

c) Evitarea utilizării motoarelor sincrone, care sînt foarte sensibile la variații de tensiune de scurtă durată și pentru care nu se poate aplica (pînă în prezent) AAR. Dacă acestea sînt totuși utilizate, se impune folosirea unei protecții de tensiune minimă, care să funcționeze în strînsă concordanță cu posibilitățile de menținere în sincronism a motoarelor sincrone.

Pentru creșterea tensiunilor remanente pe barele de alimentare a motoarelor sincrone, este utilă montarea bobinelor de reactanță pe circuitele de plecare de la barele respective (inclusiv motoarele sincrone).

d) Trecerea automată la funcționarea insulară și sacrificarea unor consumatori, la căderea totală a alimentării din sistemul energetic

național (în cazul existenței unei centrale electrice cu putere în funcțiune comparabilă cu puterea cerută de combinatul chimic). Automatizarea manevrelor conduce la o durată scurtă a perturbațiilor ce există pînă în momentul desprinderii de sistemul energetic național.

e) Compensarea curenților capacitivi de punere la pămînt în rețeaua de 6 kV (care uzual are neutrul izolat) cu ajutorul bobinelor de stingere, în scopul îmbunătățirii condițiilor de funcționare la puneri la pămînt monofazate.

Măsurile de mai sus sînt eficiente economic pentru procesele tehnologice ale căror reluare și atingere a parametrilor nominali necesită timp (4—12 ore) și determină pierderi de producție importante (de ordinul zecilor de mii de lei, pentru o secție de fabricație, și al sutelor de mii de lei, pentru întreg combinatul, la o singură oprire), chiar dacă oprirea s-a datorat unei scăderi sau absențe a tensiunii de alimentare de scurtă durată (de ordinul secundelor sau al fracțiunilor de secundă). Acesta este cazul combinatelor chimice din industria chimiei anorganice și a îngrășămintelor. Principiile expuse mai sus au fost deja aplicate în cea mai mare parte, la C.C. Craiova, la C.I.C. Turnu Măgurele, la C.I.A. Slobozia și la C.I.A. Tîrgu Mureș și vor fi aplicate la unitățile în curs de proiectare la IPRAN.

(Articol intrat în redacție la 25 decembrie 1971)

# Majorarea recuperării căldurii din gazele de regenerare a catalizatorilor de cracare

Ing. D. Dobrinescu*)

În ultimii ani, urmărindu-se în industria de prelucrare a petrolului creșterea cantității de benzină obținută din unitatea de cantitate de țiței și creșterea cifrei octanice a benzinelor fabricate, s-au dezvoltat rapid și instalațiile de cracare catalitică. În prezent există numeroase tipuri de instalații de cracare catalitică, se utilizează diverși catalizatori naturali sau sintetici și se prelucrează o mare varietate de fracțiuni petroliere. Majoritatea instalațiilor actuale de cracare catalitică funcționează cu catalizatorul în strat fluidizat și cu recirculare continuă a acestuia prin reactor și regenerator. În figura 1 este prezentată o schemă de principiu a blocului reacție-regenerare al unei instalații de cracare catalitică în strat fluidizat. Materia primă *1* (în majoritatea cazurilor de natura motorinei) este pompată prin serpentina unui cuptor *2* (care consumă combustibil), în care se încălzește și se vaporizează. Acești vapori se amestecă cu catalizatorul regenerat *3* și alimentează reactorul *4*, în care, în strat fluidizat, au loc reacțiile de cracare la o temperatură de circa 500° C.

Reacțiile de descompunere termică, care conduc la apariția unor hidrocarburi mai ușoare (de natura hidrocarburilor gazoase, a celor ce constituie benzina etc.), sînt însoțite și de reacții de condensare moleculară, care conduc și la apariția unui cocs ce se depune pe granulele de catalizator, dezactivîndu-l. Produsele de reacție părăsesc reactorul prin ciclonul *5*, care reține praful de catalizator, și merg în continuare (*6*), spre o coloană de fracționare.

*) Dumitru Dobrinescu este șef de lucrări la catedra de termotehnică și mașini termice din Institutul de petrol, gaze și geologie — București.

Continuu catalizatorul încărcat cu cosc coboară în partea inferioară a reactorului, în care este stripat cu aburul *7*, pentru îndepărtarea vaporilor de hidrocarburi antrenați. Pen-

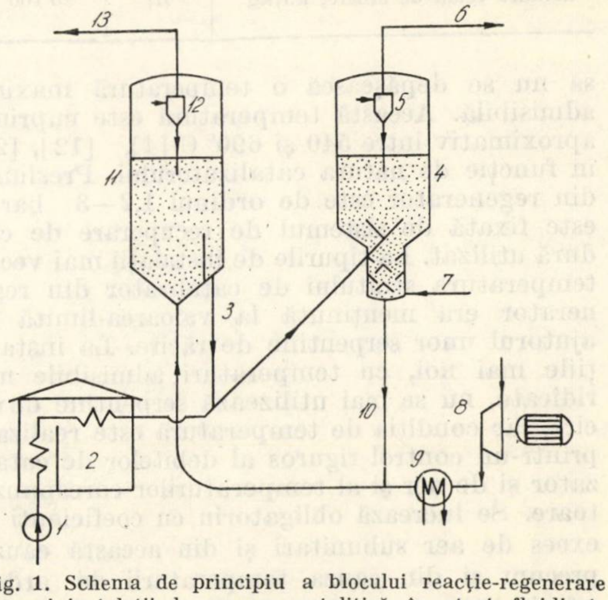



Fig. 1. Schema de principiu a blocului reacție-regenerare al unei instalații de cracare catalitică în strat fluidizat.

tru reactivarea catalizatorului, acesta trebuie regenerat, regenerarea constînd în arderea cocsului depus pe suprafața sa. Compresorul radial sau axial *8* împinge aerul prin încălzitorul *9*, iar în continuare acesta se amestecă cu catalizatorul dezactivat *10* și alimentează regeneratorul de catalizator *11*.

În generator, în strat fluidizat, are loc arderea peliculei de cocs de pe suprafața granulelor de catalizator. Gazele de regenerare sînt evacuate prin ciclonul *12* spre instalația de recuperare a căldurii *13*, iar catalizatorul regenerat se recirculă la reactor.

Deoarece rezistența termică a catalizatorului este limitată, pentru ca el să nu fie distrus în timpul regenerării, trebuie ca în regenerator

Tabelul 1

**Date privind arderea cocsului depus pe catalizator**

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Compoziţia gazelor uscate, % mol (vol.) | $y_{CO_2}$ | 9,1 | 12,0 | 12,4 | 10,0 | 9,54 | 12,0 |
| | $y_{CO}$ | 10,3 | 6,2 | 5,4 | 7,8 | 7,31 | 5,8 |
| | $y_{O_2}$ | 0,2 | 0,4 | 0,8 | 1,2 | 1,58 | 2,0 |
| Compoziţia gazelor umede, % mol (vol.) | $CO_2$ | 8,00 | 10,70 | 11,13 | 8,85 | 8,38 | 11,02 |
| | $CO$ | 9,06 | 5,52 | 4,85 | 6,91 | 6,41 | 5,33 |
| | $H_2O$ | 12,16 | 10,95 | 10,32 | 11,43 | 12,06 | 8,17 |
| | $N_2$ | 70,60 | 72,47 | 72,98 | 71,75 | 71,76 | 73,65 |
| | $O_2$ | 0,18 | 0,36 | 0,72 | 1,06 | 1,39 | 1,83 |
| Compoziţia elementară a cocsului (fracţiuni masice) | $c$ | 0,895 | 0,899 | 0,903 | 0,892 | 0,88 | 0,924 |
| | $h$ | 0,105 | 0,101 | 0,097 | 0,108 | 0,12 | 0,076 |
| Coeficientul de exces de aer | $\alpha$ | 0,812 | 0,889 | 0,919 | 0,889 | 0,913 | 0,96 |
| Căldura reală de ardere, kJ/kg | $H_i$ | 30 100 | 33 700 | 34 200 | 32 200 | 33 300 | 32 200 |

să nu se depăşească o temperatură maximă admisibilă. Această temperatură este cuprinsă aproximativ între 540 şi 690° C [4], [12], [20] în funcţie de natura catalizatorului. Presiunea din regenerator este de ordinul 1,2–3 bar şi este fixată de sistemul de recuperare de căldură utilizat. La tipurile de instalaţii mai vechi, temperatura stratului de catalizator din regenerator era menţinută la valoarea-limită cu ajutorul unor serpentine de răcire. La instalaţiile mai noi, cu temperaturi admisibile mai ridicate, nu se mai utilizează serpentine de răcire, iar condiţia de temperatură este realizată printr-un control riguros al debitelor de catalizator şi de aer şi al temperaturilor corespunzătoare. Se lucrează obligatoriu cu coeficienţi de exces de aer subunitari şi din această cauză, precum şi din cauza temperaturii de ardere relativ joase, gazele evacuate din regenerator au un conţinut însemnat de oxid de carbon.

În tabelul 1 sînt prezentate unele date privind arderea cocsului depus pe catalizator, în regeneratoarele unor instalaţii de cracare catalitică [4], [12]. Iniţial sînt date compoziţii de gaze de regenerare uscate, stabilite de exemplu cu analizoare chimice (diferenţele pînă la o sută sînt reprezentate de azot). Se constată că aceste gaze conţin 5–11% volum oxid de carbon şi sub 2% volum oxigen (conţinutul de oxigen este preferabil să fie sub 1%, pentru a se evita eventuale arderi în partea superioară a regeneratorului [11]). În continuare, tabelul conţine unele date calculate pe baza compoziţiei gazelor uscate.

Calculîndu-se numărul de kmoli de vapori de apă, corespunzător la 100 kmoli gaze uscate, cu relaţia :

$$n_{H_2O} = 53{,}2 - 2{,}532\ y_{CO_2} - 1{,}532\ y_{CO} - 2{,}532 y_{O_2},$$

se poate stabili uşor compoziţia molară a gazelor umede.

Fracţiunea masică a carbonului conţinut de cocsul depus pe catalizator se calculează cu relaţia [16] :

$$c = \frac{y_{CO_2} + y_{CO}}{8{,}87 + 0{,}578 \cdot y_{CO_2} + 0{,}745 \cdot y_{CO} - 0{,}422\ y_{O_2}}$$

iar diferenţa la unitate este reprezentată de fracţiunea masică a hidrogenului. Se constată că cocsul depus pe catalizatorii de cracare catalitică conţine 88–93% masice carbon şi 7–12% masice hidrogen.

Coeficientul de exces de aer s-a calculat cu relaţia :

$$\alpha = \frac{100 - y_{CO_2} - y_{CO} - y_{O_2}}{100 - y_{CO_2} + 0{,}88 \cdot y_{CO} - 4{,}76 \cdot y_{O_2}}$$

şi s-au obţinut valori cuprinse între 0,81 şi 0,96.

Ultima mărime din tabel a fost calculată cu relaţia [16] :

$$H_i = 4{,}187 \cdot \frac{218\,500 - 2\,280 \cdot y_{CO_2} - 3\,860 \cdot y_{CO} - 10\,380 \cdot y_{O_2}}{8{,}87 + 0{,}578 \cdot y_{CO_2} + 0{,}745 \cdot y_{CO} - 0{,}422 \cdot y_{O_2}}.$$

Ea reprezintă căldura reală de ardere a cocsului, inferioară, şi are valori cuprinse între 30 000 şi 35 000 kJ/kg cocs.

Pe baza celor arătate anterior şi, în plus, avîndu-se în vedere faptul că în regeneratoarele instalaţiilor de cracare catalitică sînt arse cantităţi foarte mari de cocs (la instalaţiile de mare capacitate ajungîndu-se şi la 25 000 kg/h cocs ars), se poate trage următoarea concluzie : debitele mari de gaze de regenerare, evacuate din regeneratoarele de catalizator ale instalaţiilor de cracare catalitică, avînd temperaturi ridicate, ce ajung pînă la 690° C, presiuni însemnate, de pînă la 3 bar, şi un mare conţinut de oxid de carbon, care poate atinge 10% volum în gazele umede, constituie o sursă însemnată de recuperare a căldurii.

**Scheme actuale de recuperare**

Din gazele de regenerare a catalizatorilor de cracare poate fi recuperată atît căldura sensibilă, prin răcirea acestora printr-un schimb de căldură util, cît şi căldura de reacţie, prin arderea oxidului de carbon conţinut şi utilizarea căldurii dezvoltate, sau poate fi produs lucru mecanic, prin destinderea acestor gaze într-o turbină, pînă la o presiune apropiată de presiunea atmosferică. Cum presiunea din regenerator este fixată obişnuit de sistemul recuperator, rezultă că se va lucra cu presiune ridicată (2,5—3 bar) numai atunci cînd se urmăreşte utilizarea în sistemul de recuperare a unei turbine de expansiune. Operarea cu presiune ridicată în regenerator prezintă şi alte avantaje, dar şi unele dezavantaje.

În cele ce urmează se prezintă patru tipuri caracteristice de sisteme recuperatoare, întîlnite la instalaţiile actuale de cracare catalitică, în care se utilizează una, două sau toate cele trei surse de recuperare amintite.

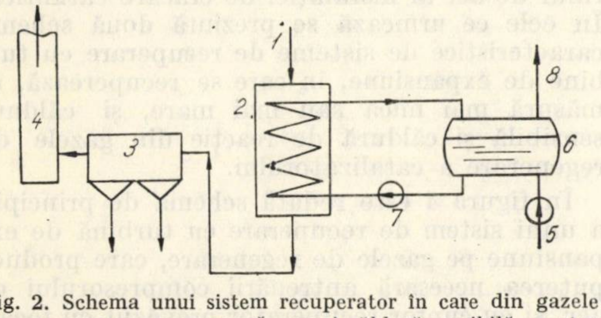



Fig. 2. Schema unui sistem recuperator în care din gazele de regenerare se recuperează numai căldură sensibilă, pentru producere de abur saturat de joasă presiune.

În figura 2 este redată o schemă de principiu a unui sistem în care se recuperează din gazele de regenerare numai căldură sensibilă. Gazele de regenerare *1*, provenite din regeneratorul de catalizator care lucrează la o presiune puţin superioară presiunii atmosferice, trec prin cazanul recuperator *2*, în care se recuperează numai căldură sensibilă, în scopul producerii de abur de joasă presiune, şi apoi prin filtrul electric *3*, care separă urmele de praf de catalizator, spre coşul *4*, de evacuare în atmosferă. Apa de alimentare *5* a cazanului recuperator este introdusă în tamburul separator *6*, iar pompa *7* recirculă apa din tambur prin serpentina de vaporizare plasată în cazanul recuperator. Prin această recuperare de căldură se produce aburul saturat *8*, evacuat din tamburul separator. La o instalaţie care utilizează o astfel de schemă de recuperare, gazele de regenerare, cu un debit de 31 000 kg/h, se răcesc în cazanul recuperator de la 600 pînă la 300° C, producîndu-se din apă de alimentare cu temperatura de 50° C un debit de 3,5 t/h abur saturat de 13 bar.

Acest sistem de recuperare este foarte simplu, dar prezintă două mari dezavantaje :

— se poluează atmosfera prin evacuarea unui debit de 1 900 kg/h oxid de carbon conţinut în gazele de regenerare ;

— se pierd 19,2 $\cdot 10^6$ kJ/h prin nerecuperarea căldurii de reacţie a oxidului de carbon, faţă de numai 9,2 $\cdot 10^6$ kJ/h căldură sensibilă recuperată.

În instalaţiile de cracare catalitică mai noi se recuperează din gazele de regenerare atît căldură sensibilă, cît şi căldura de reacţie a oxidului de carbon. Se pot utiliza două tipuri de instalaţii recuperatoare, dintre care primul este mult mai răspîndit : instalaţii cu ardere directă a oxidului de carbon şi instalaţii cu ardere catalitică a acestuia [1], [6], [9], [10].

Instalaţiile recuperatoare cu ardere directă a oxidului de carbon constau în cazane recuperatoare prevăzute cu focar [13], [15], în care se arde şi o cantitate mică de combustibil suplimentar, astfel ca temperatura din focar să fie cel puţin egală cu 950° C. În acest mod se asigură arderea completă a oxidului de carbon, dacă global există un mic exces de aer. Aerul suplimentar introdus în focar trebuie să aibă o mică suprapresiune. Este bine să se prevadă la cazanul recuperator mai multe arzătoare, astfel încît el să poată funcţiona chiar şi atunci cînd instalaţia de cracare catalitică este oprită. În focarul unui cazan-recuperator alimentat cu 47 000 kg/h gaze de regenerare cu temperatura de 580° C, care conţin 3 000 kg/h oxid de carbon, cu 19 000 kg/h aer suplimentar şi cu 300 kg/h combustibil suplimentar, se dezvoltă prin ardere 44,3 $\cdot 10^6$ kJ/h şi rezultă 66 300 kg/h gaze de ardere ($\alpha = 1{,}2$) cu temperatura de 965° C.

Pentru o temperatură de evacuare a gazelor de ardere din cazan de 250° C rezultă o utilizare de căldură de 48,2 $\cdot 10^6$ kJ/h, care echivalează cu producerea a aproximativ 16,5 t/h abur energetic cu presiunea de 35 bar şi temperatura de 350° C.

Instalaţiile recuperatoare cu oxidare catalitică a oxidului de carbon existent în gazele de regenerare conţin un reactor ,,oxicat", plasat între regeneratorul de catalizator şi cazanul recuperator. Acest reactor conţine straturi de catalizator de alumină şi platină, pe suport de

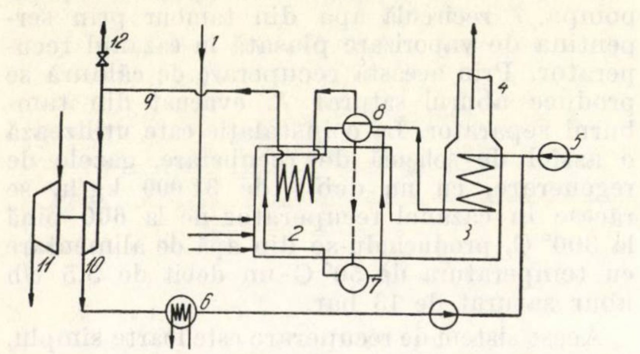



Fig. 3. Schema unui sistem recuperator în care din gazele de regenerare se recuperează atît căldură de reacţie cît şi căldură sensibilă, pentru producere de abur supraîncălzit.

porţelan, care realizează arderea completă a oxidului de carbon cu aerul introdus suplimentar. Pentru a se menţine timp de mai mulţi ani eficacitatea catalizatorului, se recomandă ca temperatura gazelor de ardere să nu depăşească în reactor 850° C, iar pentru asigurarea arderii complete a oxidului de carbon trebuie să se lucreze cu minimum 1% volum oxigen în gazele de ardere care părăsesc reactorul. Dintr-un reactor ,,oxicat" alimentat cu 47 000 kg/h gaze de regenerare cu temperatura de 580° C, care conţin 3 000 kg/h oxid de carbon, şi cu 16 000 kg/h aer suplimentar, se obţin la evacuare 63 000 kg/h gaze de ardere ($\alpha = 1{,}25$) cu temperatura de 840° C, care în continuare alimentează cazanul recuperator. Astfel se recuperează din gazele de regenerare atît căldura sensibilă, cît şi căldura de reacţie a oxidului de carbon.

În figura 3 este prezentată schema de principiu a unui sistem recuperator, în care se recuperează, din gazele de regenerare a catalizatorului dintr-o instalaţie de cracare catalitică atît căldură de reacţie cît şi căldură sensibilă, în scopul producerii de abur cu parametri relativ ridicaţi. Gazele de regenerare *1*, cu o temperatură de 660° C şi un conţinut de 6% volum oxid de carbon, alimentează focarul *2* al unui cazan de abur ecranat, împreună cu combustibilul şi aerul suplimentar. Din focar gazele de ardere trec prin secţia de convecţie *3* a cazanului şi apoi sînt evacuate la coşul *4*. Apa de alimentare *5*, împreună cu condensatul recirculat de la condensatorul *6*, trece prin economizorul plasat în secţia de convecţie a cazanului şi alimentează tamburul superior *8* (cu *7* este notat tamburul inferior). Prin ţevile fierbătoare, apa are o circulaţie naturală. Aburul saturat evacuat din tamburul superior trece în continuare prin serpentina de supraîncălzire plasată în secţia de radiaţie a cazanului. Pentru a se realiza o bună omogenizare a amestecului combustibil, focarul este prevăzut cu patru şiruri verticale de arzătoare, cu injectări tangenţiale. Acest cazan recuperator produce 50 t/h abur supraîncălzit (*9*) de 36 bar şi 350° C. El este însă astfel proiectat încît, prin mărirea debitelor de combustibil şi aer suplimentar, să poată ajunge la un debit maxim de abur produs de 90 t/h. O parte din aburul produs este utilizat la turbina *10*, cu condensare în vid, care antrenează compresorul de aer *11*, ce alimentează regeneratorul de catalizator. Restul aburului este laminat pînă la 15 bar şi alimentează reţeaua de abur tehnologic *12* a rafinăriei.

Din acest exemplu se constată că, prin recuperare de căldură de reacţie şi sensibilă din gazele de regenerare a catalizatorului, se obţin atît energia necesară antrenării compresorului ce alimentează cu aer regeneratorul instalaţiei de cracare catalitică, cît şi un debit însemnat de abur tehnologic pentru diversele necesităţi ale rafinăriei.

În ultimii ani, instalaţiile de forţă cu turbine cu gaze au fost introduse pe scară largă în industria de petrol şi gaze. Răspîndirea rapidă a acestora s-a datorat avantajelor pe care le prezintă în raport cu celelalte tipuri de instalaţii de forţă [14]. În instalaţiile de cracare catalitică se întîlnesc şi instalaţii clasice de turbină cu gaze (cu cameră de ardere), care antrenează compresorul de aer pentru regenerare, dar în majoritatea cazurilor se utilizează turbine de expansiune cu gazele evacuate din regeneratorul de catalizator [2], [5], [7], [18], [19]. În acest ultim caz, regeneratorul de catalizator trebuie să lucreze la o presiune de ordinul 2,5—3 bar, pentru a se obţine prin destinderea gazelor de regenerare cel puţin puterea necesară pentru antrenarea compresorului de aer al instalaţiei de cracare catalitică. În cele ce urmează se prezintă două scheme caracteristice de sisteme de recuperare cu turbine de expansiune, în care se recuperează, în măsură mai mică sau mai mare, şi căldură sensibilă şi căldură de reacţie din gazele de regenerare a catalizatorului.

În figura 4 este redată schema de principiu a unui sistem de recuperare cu turbină de expansiune pe gazele de regenerare, care produce puterea necesară antrenării compresorului de aer, şi cu cuptor recuperator prevăzut cu focar, în care, prin recuperare de căldură sensibilă şi de reacţie din gazele de regenerare, se încălzeşte şi se vaporizează materia primă care alimentează reactorul instalaţiei de cracare catalitică [3]. Gazele de regenerare evacuate din regeneratorul de catalizator *1* trec prin cicloanele suplimentare exterioare *2*, care reţin urmele de praf de catalizator ce ar dăuna turbinei şi se destind apoi în turbina de expansiune *3*.

Puterea produsă de turbină este consumată de compresorul 4, care alimentează cu aer regeneratorul de catalizator. Gazele evacuate din turbină (cu un conţinut important de CO),

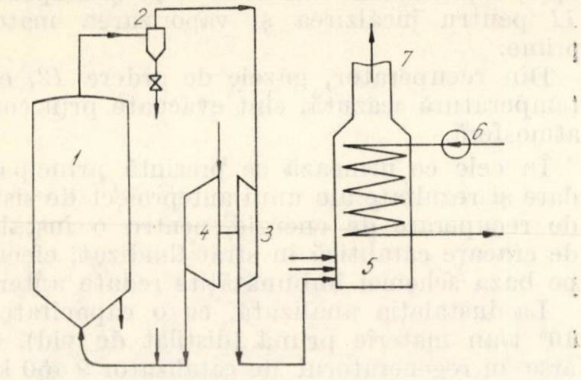


Fig. 4. Schema unui sistem de recuperare cu turbină de expansiune pe gazele de regenerare şi cu cuptor recuperator, cu focar, pentru încălzirea şi vaporizarea materiei prime.

împreună cu combustibilul şi cu aerul suplimentar, alimentează focarul cuptorului recuperator 5, în care prin ardere se realizează o temperatură de minimum 950° C. Prin serpentina cuptorului circulă materia primă 6, care se încălzeşte şi se vaporizează, recuperîndu-se astfel din gazele de regenerare atît căldură de reacţie cît şi căldură sensibilă. Gazele de ardere sînt evacuate final din cuptorul recuperator prin coşul 7. Cum căldura necesară încălzirii şi vaporizării materiei prime este sensibil mai mică decît căldura recuperabilă din gazele de regenerare şi combustibilul suplimentar, rezultă că în acest caz gazele de ardere evacuate în atmosferă au o temperatură relativ ridicată.

În figura 5 este prezentată schema de principiu a unui sistem de recuperare, cu cazan recuperator, prevăzut cu focar cu ardere sub

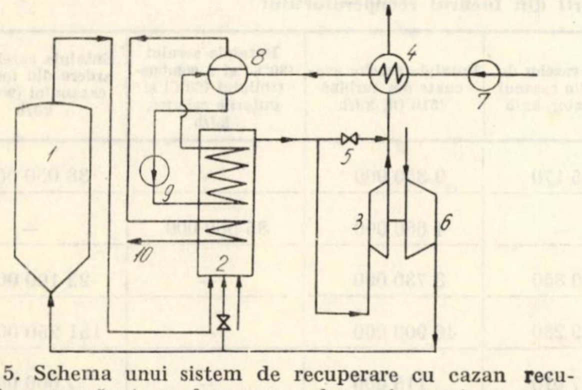


Fig. 5. Schema unui sistem de recuperare cu cazan recuperator, prevăzut cu focar cu ardere sub presiune şi cu turbină de expansiune pe gazele de ardere evacuate din cazan.

presiune şi cu turbină de expansiune pe gazele de ardere evacuate din cazan [8], [21]. Gazele de regenerare (conţinînd şi oxid de carbon) trec din regeneratorul de catalizator 1 în focarul cazanului recuperator 2, în care se introduc şi combustibilul şi aerul suplimentar, arderea avînd loc sub presiune. Gazele de ardere evacuate din cazan se destind în turbina de expansiune 3 şi apoi trec prin recuperatorul 4, în care are loc preîncălzirea apei de alimentare a cazanului. Ventilul de laminare 5, reglat automat, menţine la o valoare constantă debitul gazelor de ardere ce merg la turbină (surplusul de gaze de ardere alimentează direct recuperatorul 4). Puterea produsă de turbină este consumată de compresorul 6, care alimentează cu aer atît regeneratorul de catalizator, cît şi focarul cazanului recuperator. Apa de alimentare a cazanului este pompată (7) prin recuperatorul 4, în tamburul separator 8. Pompa 9 recirculă apa din tambur prin serpentina de vaporizare a cazanului recuperator. Aburul saturat evacuat din tamburul separator trece prin serpentina de supraîncălzire a cazanului, obţinîndu-se în final aburul supraîncălzit 10, cu parametri relativ ridicaţi.

Într-un sistem recuperator care utilizează această schemă, compresorul lucrează cu un raport de compresie de aproximativ 2,9, iar turbina cu un raport de compresie egal cu 2,2. Gazele de ardere ce trec din cazanul recuperator în turbină au o temperatură în jurul a 600 ° C. Se recuperează global aproximativ 80 % din căldura de ardere a cocsului şi a combustibilului suplimentar. Dezavantajul acestui sistem de recuperare constă în faptul că realizarea, operarea şi întreţinerea cazanului recuperator, care lucrează cu o presiune pe circuitul gazelor arse de aproximativ 2,5 bar, sînt relativ dificile.

Din cele expuse cu privire la schemele caracteristice actuale de recuperare de energie din gazele de regenerare a catalizatorilor de cracare, s-a constatat că, prin recuperare de căldură de reacţie şi sensibilă din gazele de regenerare, se poate produce abur sau poate fi încălzită şi vaporizată materia primă care alimentează reactorul instalaţiei de cracare catalitică şi că, lucrîndu-se la regenerator cu o presiune de ordinul 2,5—3 bar, prin destinderea gazelor de regenerare într-o turbină de expansiune, se poate obţine puterea necesară acţionării compresorului, care alimentează cu aer regeneratorul de catalizator.

## O schemă îmbunătăţită de recuperare

Prin îmbinarea principalelor elemente de recuperare din schemele prezentate anterior, se poate obţine o schemă îmbunătăţită de recuperare de energie din gazele de regenerare a catalizatorilor de cracare, o schemă în care prin destinderea gazelor de regenerare se obţine lucrul mecanic necesar antrenării compresorului de aer şi, eventual, un excedent de lucru mecanic care poate fi transformat în energie

electrică şi în care, prin recuperare de căldură de reacţie şi sensibilă din gazele de regenerare, se produce abur şi se încălzeşte şi se vaporizează materia primă a instalaţiei.

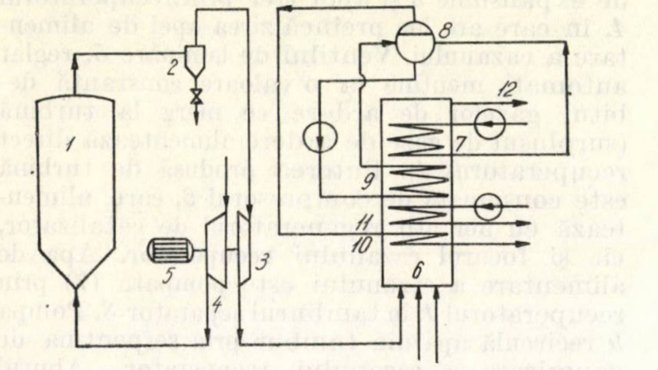



Fig. 6. Schema îmbunătăţită de recuperare de energie, cu turbină de expansiune, generator electric şi cuptor-cazan recuperator.

O asemenea schemă îmbunătăţită de recuperare este prezentată în figura 6.

Gazele evacuate din regeneratorul de catalizator *1* trec prin cicloanele suplimentare *2* şi apoi se destind în turbina de expansiune *3*. Lucrul mecanic produs de turbină este consumat parţial de compresorul de aer *4* şi parţial transformat în energie electrică, prin intermediul generatorului *5*. Acest generator este chiar motorul (reversibil) electric necesar pentru pornirea cuplului turbină-compresor.

Gazele de regenerare evacuate din turbină trec în focarul *6* al cuptor-cazanului recuperator, în care se mai introduc şi combustibilul şi aerul suplimentar. Cuptor-cazanul recuperator conţine patru secţii de schimb de căldură, plasate după temperaturile caracteristice, în contracurent cu gazele arse: economizorul *7*, pentru preîncălzirea apei ce alimentează tamburul separator *8*, serpentina de vaporizare *9*, prin care se realizează o recirculare forţată a apei, supraîncălzitorul de abur *10* şi serpentina *11* pentru încălzirea şi vaporizarea materiei prime.

Din recuperator, gazele de ardere *12*, cu o temperatură scăzută, sînt evacuate prin coş în atmosferă.

În cele ce urmează se prezintă principalele date şi rezultate ale unui anteproiect de sistem de recuperare de energie, pentru o instalaţie de cracare catalitică în strat fluidizat, efectuat pe baza schemei îmbunătăţite redate anterior.

La instalaţia analizată, cu o capacitate de $10^6$ t/an materie primă (distilat de vid), sînt arse în regeneratorul de catalizator 9 450 kg/h cocs ($c = 0{,}897$ şi $h = 0{,}103$), cu un coeficient de exces de aer de 0,852. Se consumă 111 700 kg/h aer şi rezultă 121 150 kg/h gaze de ardere cu următoarea compoziţie în procente masice: $CO_2$ 14,95, CO 6,93, $H_2O$ 7,21, $N_2$ 70,72 şi $O_2$ 0,19. La intrarea în turbină aceste gaze au presiunea de 2,9 bar şi temperatura de 680° C, iar la ieşirea din turbină, presiunea de 1,2 bar şi temperatura de 510° C. Turbina dezvoltă efectiv o putere de 6 950 kW, din care 4 600 kW se consumă pentru antrenarea compresorului de aer, iar diferenţa este transformată prin intermediul generatorului în 2 300 kW putere electrică. Prin comprimare, aerul trece de la presiunea de 1 bar şi temperatura de 20° C la presiunea de 3,3 bar şi temperatura de 160° C.

Focarul cuptor-cazanului recuperator este alimentat cu gazele de ardere evacuate din turbină, cu 1 300 kg/h combustibil suplimentar (gaze de rafinării) şi cu 69 860 kg/h aer supli-

*Tabelul 2*

**Bilanţul material şi termic al arderii din focarul recuperatorului**

| Component | Debitul gazelor evacuate din turbină, kg/h | Debitul combustibilului şi al aerului suplimentar, kg/h | Debitul gazelor de ardere din cazanul recuperator, kg/h | Entalpia gazelor evacuate din turbină (510°C), kJ/h | Entalpia aerului (30°C) şi a combustibilului (20°C) şi puterile calorice, kJ/h | Entalpia gazelor de ardere din focarul cazanului (968°C), kJ/h |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $CO_2$ | 18 100 | — | 35 170 | 9 350 000 | — | 38 050 000 |
| CO | 8 400 | — | — | 4 650 000 | 85 500 000 | — |
| $H_2O$ | 8 740 | — | 10 850 | 8 730 000 | — | 22 100 000 |
| $N_2$ | 85 680 | — | 139 280 | 46 900 000 | — | 151 250 000 |
| $O_2$ | 230 | — | 7 010 | 115 000 | — | 7 000 000 |
| Combustibil | — | 1 300 | — | — | 55 000<br>61 000 000 | — |
| Aer | — | 69 860 | — | — | 2 100 000 | — |
| TOTAL | 121 150 | 71 160 | 192 310 | 69 745 000 | 148 655 000 | 218 400 000 |

mentar. Prin ardere rezultă 192 310 kg/h gaze de ardere cu temperatura de 968° C, coeficientul de exces de aer global fiind de 1,2. În aceste condiţii se asigură arderea completă a celor 8 400 kg/h CO provenite din regeneratorul de

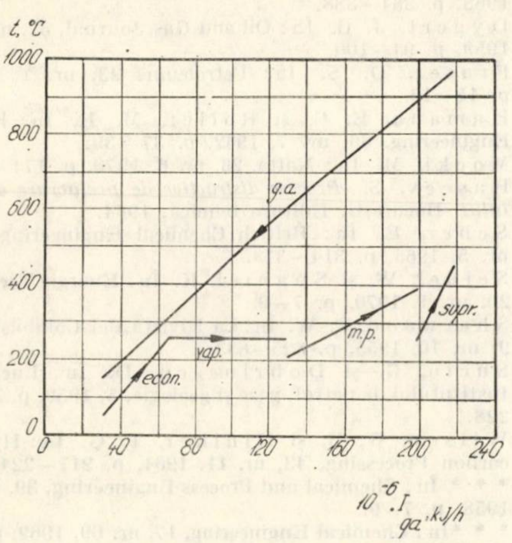



Fig. 7. Variaţiile temperaturilor gazelor de ardere, ale apei-aburului şi ale materiei prime, în funcţie de entalpia gazelor de ardere din recuperator.

catalizator. În tabelul 2 este prezentat bilanţul material şi termic al arderii din focarul recuperatorului.

Pentru o temperatură a gazelor de coş de 150° C, ţinîndu-se seamă şi de celelalte pierderi ale recuperatorului, rezultă un debit de căldură utilă de 182 ·10⁶ kJ/h. Din aceasta se consumă 67 ·10⁶ kJ/h pentru încălzirea (de la 210° C pînă la 392° C) şi vaporizarea parţială a materiei prime (încălzirea în continuare şi vaporizarea integrală se realizează prin schimb de căldură prin contact cu catalizatorul evacuat din regenerator).

Rămîne disponibil pentru producerea aburului un debit de căldură de 115·10⁶ kJ/h. Fiind mai avantajoasă producerea de abur supraîncălzit de presiune relativ ridicată, prin absorbţia acestui debit de căldură, pentru o temperatură a apei de alimentare de 50° C, se poate produce un debit de 37 t/h abur cu presiunea de 45 bar şi temperatura de 450° C. În figura 7 s-au reprezentat variaţiile temperaturilor gazelor de ardere ale apei-aburului şi ale materiei prime, în funcţie de entalpia gazelor de ardere şi se constată că diferenţele de temperatură sînt acceptabile.

Aburul produs de cazanul recuperator poate fi utilizat în două moduri :

— pentru producere numai de energie electrică ce se introduce în reţeaua rafinăriei ;

— pentru producere mixtă de energie electrică şi de abur tehnologic de presiune medie [17].

În primul caz, lucrîndu-se după schema clasică şi cu o temperatură de condensare a aburului evacuat din turbină de 50° C, se poate obţine o putere electrică de 8 900 kW. Astfel, prin recuperările de căldură realizate, instalaţia de cracare catalitică analizată poate produce global şi o putere electrică de 11,2 MW. În al doilea caz, lucrîndu-se la turbină cu o contrapresiune de 15 bar, puterea electrică produsă se reduce la 2 500 kW (global pe instalaţie 4,8 MW), dar se poate introduce în reţeaua de presiune medie a rafinăriei şi un debit de 37 t/h abur tehnologic de 15 bar şi 310° C. Dacă recuperatorul ar fi dimensionat pentru producere directă de abur tehnologic de presiune medie, s-ar obţine un debit de 40,7 t/h abur de 15 bar şi 300° C. În multe cazuri, în rafinării este necesar aburul tehnologic de presiune medie, şi nu cel de presiune joasă (2—3 bar).

Cuptor-cazanul recuperator din schema propusă şi analizată lucrează cu un randament termic de 83,4%.

## Concluzii

Comparîndu-se schema îmbunătăţită de recuperare a căldurii (fig. 6), propusă pentru o instalaţie de cracare catalitică, cu schema clasică a instalaţiei de cracare catalitică (fig. 1), se pot pune în evidenţă următoarele avantaje ale schemei propuse :

— se elimină necesitatea consumării din exterior a puterii necesare pentru antrenarea compresorului de aer ;

— nu mai este necesar încălzitorul de aer, care consumă şi căldură din exterior, pentru că, prin comprimarea mai avansată, aerul ajunge la temperatura necesară alimentării regeneratorului de catalizator ;

— este eliminată necesitatea cuptorului separat pentru încălzirea şi vaporizarea materiei prime, care se obţin prin consum de combustibil ;

— se realizează o economie de combustibil, debitul de combustibil suplimentar utilizat la recuperator fiind cu 600 kg/h mai mic decît debitul de combustibil ce s-ar consuma la un cuptor separat ;

— nu se mai consumă abur de stripare din exterior, acesta reprezentînd numai o mică parte din aburul care poate fi obţinut prin recuperare de căldură ;

— se evită poluarea atmosferei cu CO şi se recuperează căldura de reacţie a acestuia, care are o valoare foarte mare ;

— se produce prin recuperare de căldură o putere electrică însemnată, mai mare decît consumul global al instalaţiei ;

— se poate produce un debit relativ mare de abur tehnologic de presiune medie, care se introduce în reţeaua de consum a rafinăriei.

În raport cu schema de recuperare propusă, avantajele schemelor actuale de recuperare prezentate sînt, bineînțeles, parțiale.

Desigur că introducerea unui sistem recuperator de căldură necesită investiții suplimentare, dar practica actuală a exploatării recuperatoarelor de căldură a demonstrat că amortizarea acestora se face într-un timp relativ scurt și că recuperarea de căldură din gazele de regenerare a catalizatorilor de cracare este economică, chiar atunci cînd rafinăria este deservită de o centrală de termoficare.

Introducerea sau îmbunătățirea sistemelor de recuperare a căldurii sînt probleme de actualitate, care se încadrează în sarcinile economiei naționale, de reducere continuă a consumurilor specifice de energie, de eliminare a pierderilor de energie și de gospodărire rațională a energiei, prin perfecționarea tehnică a instalațiilor consumatoare și prin valorificarea resurselor energetice secundare.

**Bibliografie**


[1] Alexander, W. H. și Brandley, R. L. În: Petroleum Refiner, 37, nr. 8, 1958, p. 107—112.
[2] Mc. Anneny, A. W. În: Oil and Gas Journal, 60, nr. 15, 1962, p. 108—111.
[3] Bailey, V. A. Jr. și Morse, N. L. În: Oil and Gas Journal, 64, nr. 11, 1966, p. 110—114.
[4] Bodnarenko, B. I. *Instalații de cracare catalitică.* București, Editura tehnică, 1960.
[5] Bruce, D. F. În: Petroleum Engineer for Management, 33, nr. 2, 1961, p. C 19—C 22.
[6] Dobrinescu, D. În: Energetica, 13, nr. 3, 1965, p. 94—100.
[7] Dobrinescu, D. În: Petrol și gaze, 19, nr. 6, 1968, p. 384—388.
[8] Dygert, J. C. În: Oil and Gas Journal, 57, nr. 17, 1959, p. 94—100.
[9] Fraser, D. S. În: Petroleum, 23, nr. 1, 1960, p. 15—16.
[10] Hamann, E. C. și Roller, M. E. În: Power Engineering, 66, nr. 7, 1962, p. 37—39.
[11] Mocki, M. În: Nafta, 26, nr. 6, 1970, p. 174—176.
[12] Rașeev, S. *Procese distructive de prelucrare a țițeiului.* București, Editura tehnică, 1964.
[13] Seher, E. În: British Chemical Engineering, 10, nr. 5, 1965, p. 314—318.
[14] Seidel, W. și Spaniel, K. În: Energie Technik, 20, nr. 1, 1970. p. 7—9.
[15] Sherwood, P. W. În: La Rivista dei Combustibili, 9, nr. 10, 1955, p. 825—833.
[16] Suciu, G. și Dobrinescu, D. În: Lucrările Institutului de petrol, gaze și geologie, 5, 1959, p. 211—228.
[17] Wilson, W. B. și Hiniker, T. G. În: Hydrocarbon Processing, 43, nr. 11, 1964, p. 217—224.
[18] * * * În: Chemical and Process Engineering, 39, nr. 1, 1958, p. 7—9.
[19] * * * În: Chemical Engineering, 17, nr. 69, 1962, p. 74.
[20] Guidi, L. În: Il Calore, 41, nr. 2, 1970, p. 79—88.
[21] * * * În: Oil Engine and Gas Turbine, 31, nr. 358, 1963, p. 52—55.


**(Articol intrat în redacție la 21 februarie 1972)**

# Afișajul grafic al imaginilor caracteristice comportării grupurilor de mare putere dintr-o centrală

Dr. ing. **H. Cristea**
și ing. **G. I. Brânzaru***)

Puterile tot mai mari ale grupurilor și ale centralelor electrice, creșterea complexității rețelelor și realizarea interconexiunilor sistemului electroenergetic național cu sistemele electroenergetice ale țărilor vecine pun probleme noi în ceea ce privește siguranța în funcționare, pentru diferite regimuri, a grupurilor din sistem și asigurarea acesteia prin utilizarea mijloacelor moderne ale analizei comportării lor în timp real.

Studiile efectuate în I.S.P.E. subliniază faptul că pentru anii următori, odată cu dezvoltarea rețelei de 400 kV, în sistem se vor ivi, de exemplu, situații în care va fi necesar ca anumite grupuri de mare putere să funcționeze în regim subexcitat, regim ce apare ca oportun în asigurarea unui reglaj optim al nivelurilor de tensiuni din rețea. În acest caz, funcționarea grupurilor din centrale în regim capacitiv se situează mai aproape de regimurile critice din punctul de vedere al limitei termice și al stabilității statice naturale. În aceste condiții se impun o serie de exigențe privind urmărirea comportării grupurilor de către personalul de exploatare atît în regim normal de funcționare, cît și în cazul tendinței de evoluție a regimului normal spre un regim perturbat. Din aceste motive personalul de exploatare trebuie să cunoască în permanență limitele puterii reactive ce poate fi absorbită din sistem pentru diverse niveluri de tensiuni, precum și încadrarea corectă a regimului respectiv între regimurile de funcționare posibile, cu respectarea tuturor restricțiilor de încălzire și de funcționare stabilă.

Pentru ca personalul de exploatare să poată obține operativ pe cale intuitivă elementele sintetice de bază referitoare la starea funcțională a grupurilor mari din centrală, precum și legătura și poziția centralei în ansamblul sistemului electroenergetic, se recomandă utilizarea unor dispozitive specializate.

Prin afișarea automată pe ecranul unei console de vizualizare a unor imagini sintetice, aceste dispozitive oferă posibilitatea aprecierii în timp real a evoluției regimului, în vederea ușurării luării deciziilor prin simpla inspectare vizuală a imaginilor caracteristice regimului analizat. Unul dintre tipurile de diagrame curent utilizate în cercetare și în studiile de pro-

*) Dr. ing. Haralambie Cristea este cercetător principal, șeful sectorului Sisteme rețele și cabluri din ICENERG; Gabriel-Irinel Brânzaru este inginer în același sector.

iectare îl constituie imaginea nodală, concept al analizei nodale DIMO [1]. Astfel se concentrează o multitudine de informații privind regimul electric al grupului din centrală, precum și al ansamblului grup-sistem sau al ansamblului centrală-sistem electroenergetic.

Ca dispozitiv specializat pentru afișarea imaginii nodale se utilizează în cercetare, iar în viitorul apropiat și în exploatare, anagraful Dimo [2], [3], [4], [5], [6].

La ICENERG s-au efectuat cercetări și experimentări pentru introducerea anagrafului la grupurile mari din centralele hidro și termoelectrice, dotate sau nu cu calculatoare de proces.

Articolul prezintă cîteva aspecte ale unor cercetări privind utilizarea imaginii nodale și a anagrafului în analiza comportării unui grup de mare putere dintr-o centrală termoelectrică nedotată cu calculatoare de proces în prima etapă, dar avînd posibilitatea cuplării anagrafului, ca periferic al calculatorului într-o etapă următoare.

## 1. Ipoteze preliminare

Centrala termoelectrică în construcție va fi dotată în prima etapă cu trei grupuri de cîte 210 MW fiecare, grupuri ce vor funcționa în schemă electrică bloc generator-transformator, debitînd direct pe bara de 220 kV, care constituie nodul în studiu. Pentru această etapă, în proiect nu se prevede instalarea calculatoarelor de proces pe grup sau pe centrală și nici instalație electronică de control centralizat.

În cea de-a doua etapă de dezvoltare a centralei se vor instala încă trei grupuri turbogeneratoare de cîte 330 MW fiecare, funcționînd de asemenea în schemă electrică bloc. În această etapă se admite prin ipoteză dotarea cu un calculator de proces pe centrală, de capacitate restrînsă, sau, eventual, cu o mașină de control centralizat. În funcție de ipotezele enunțate, soluția de dotare cu dispozitiv specializate pentru vizualizarea imaginii nodale trebuie să asigure :

— realizarea unor elemente de adaptare care să permită o prelucrare în timp real, automată și satisfăcătoare, a datelor primite din proces sub forma unor mărimi de intrare tipizate pentru anagraful instalat pe grup sau pe centrală ;

— cuplarea la calculatorul de proces care urmează să fie instalat în a doua etapă de dezvoltare a centralei, fără modificări constructive importante în schema existentă a anagrafului dat în funcțiune în prima etapă ;

— centralizarea în camera de comandă dispecer pe centrală a informațiilor prelucrate, cu afișarea permanentă sau la cerere a imaginilor nodale ;

— racordarea anagrafului la programe mai complexe de calcul, în timp real sau simulat, al diferitelor regimuri de funcționare a grupului ;

— posibilitatea introducerii directe a unor informații obținute în coordonate carteziene de la aparate de măsură și control, ale căror semnale de ieșire sînt date în unități caracteristice pentru anagraf (de exemplu, coordonatele fazorilor echivalenți restului sistemului sau unor grupuri reale, ce influențează asupra regimului nodului analizat etc.) ;

— posibilitatea schimbării numărului și a ordinii fazorilor în imagine, precum și vizualizarea la apel a altor imagini reprezentative, normale sau limitative.

## 2. Scheme REI și imagini nodale de grup

Calculul schemelor REI și al imaginilor nodale în raport cu bara de 220 kV s-a făcut pornindu-se de la configurația de perspectivă a sistemului electroenergetic. Din această schemă, utilizîndu-se metoda secționării și metoda de calcul al impedanțelor echivalente, s-a obținut o schemă de calcul, din care, prin aruncări succesive ale sarcinilor din punctele centrale în noduri, s-a determinat o schemă echivalentă redusă, cu o configurație radială. Deoarece grupul turbogenerator păstrat în adevărata identitate în schema radială funcționează după schema bloc generator-transformator, debitînd pe bara de 220 kV, parametrii schemei au fost raportați la tensiunea de 220 kV. S-a calculat apoi o schemă radială echivalentă, în care s-a păstrat generatorul analizat, al cărui fazor urmează a fi reprezentat, restul sistemului fiind înlocuit cu o mașină sincronă echivalentă. În figura 1 se dau schemele REI deduse cu reactanțele sincrone (fig. 1,*a*) și tranzitorii (fig. 1, *b*) ale generatoarelor pentru o schemă echivalentă, în care s-au păstrat generatorul analizat în adevărata identitate și o mașină sincronă echivalentă restului generatoarelor din sistem. Generatorul și mașina sincronă sînt reprezentate printr-o tensiune electromotoare constantă, cuplată în spatele reactanțelor. În figura 1,*c* sînt reprezentate imaginile nodale construite după schema REI, în care $OO_1O_2$ este imaginea nodală calculată cu reactanțele sincrone ale generatorului și ale mașinii echivalente, iar $O'O_1O'_2$ este imaginea nodală calculată cu reactanțele tranzitorii, în scopul urmăririi pe ecran a imaginilor nodale succesive, referitoare la desfășurarea în timp a unor regimuri dinamice simulate. În figura 1,*d* se dau imaginile nodale reprezentate la altă scară, așa cum vor apărea pe ecranul anagrafului. Se observă că, din fazorul reprezentativ al mașinii sincrone echivalente, fazor ale cărui coordonate sînt obținute în timp real de la dispecerul energetic național, se păstrează numai un segment incident cu fazorul generatorului,

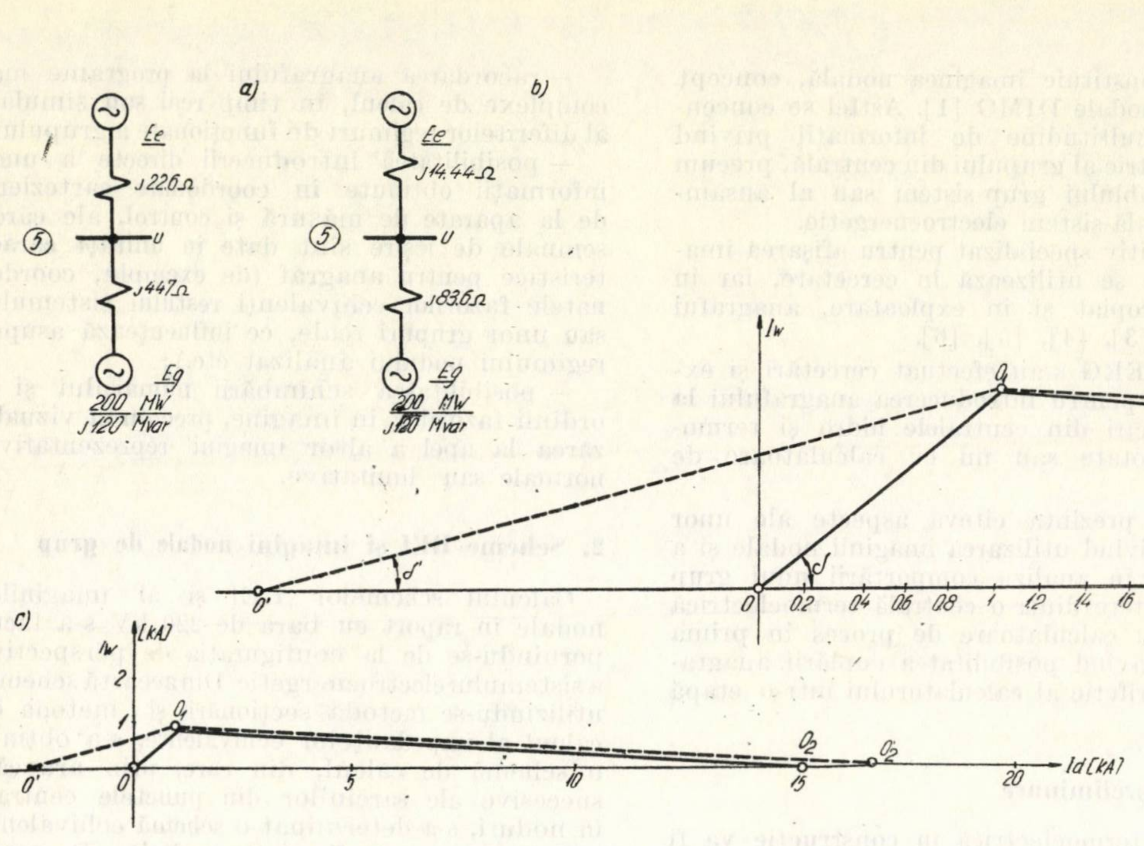



**Fig. 1.** Schemele REI şi imaginile nodale de grup (schema generator — maşină sincronă):
——— imagine calculată cu reactanţa sincronă; – – – imagine calculată cu reactanţa tranzitorie.

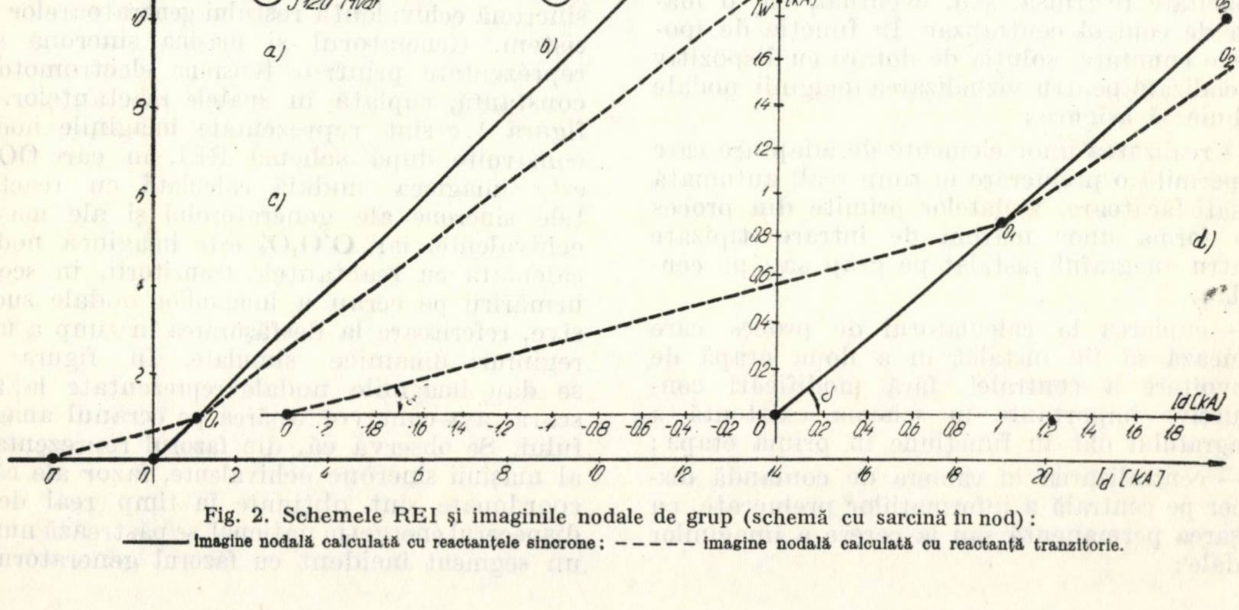



**Fig. 2.** Schemele REI şi imaginile nodale de grup (schemă cu sarcină în nod):
——— imagine nodală calculată cu reactanţele sincrone; – – – – imagine nodală calculată cu reactanţă tranzitorie.

întrucît în analiza de efectuat nu interesează amplitudinea acestui fazor, ci numai unghiul pe care îl determină cu fazorul generatorului în studiu. În figura 2 se prezintă imaginile nodale şi schemele REI corespunzătoare schemei

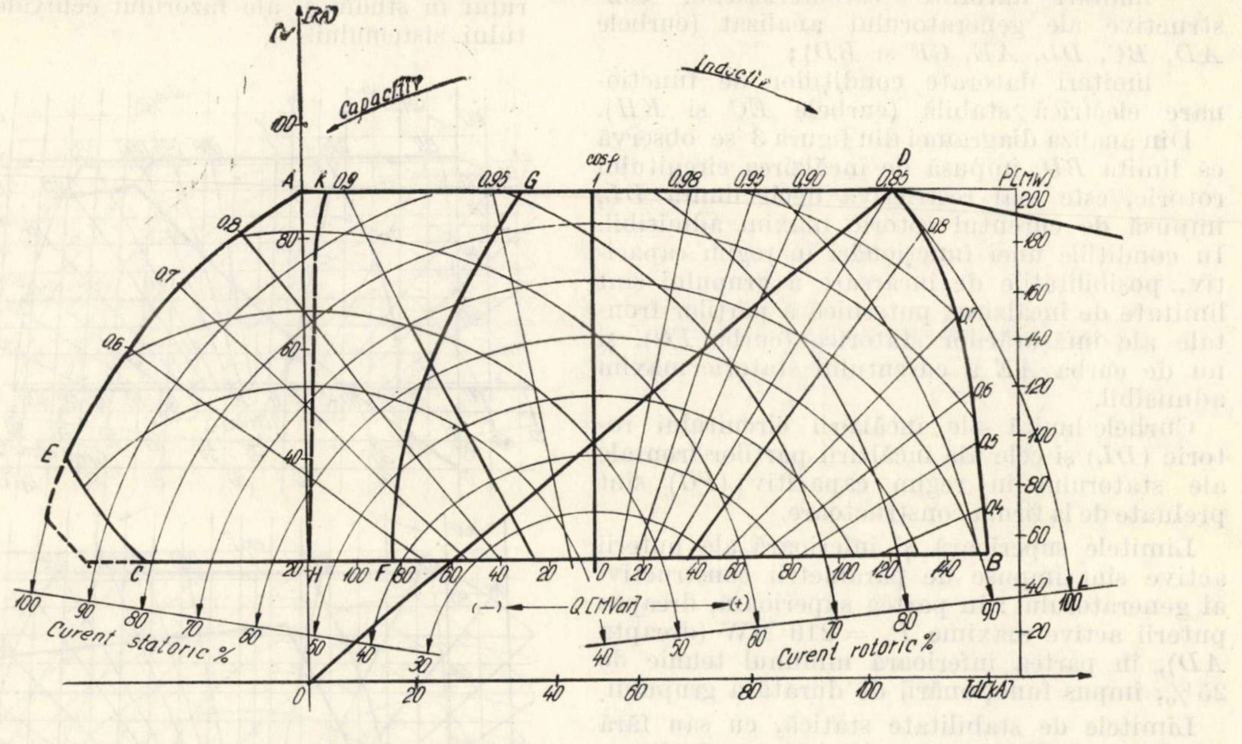



Fig. 3. Diagrama locurilor geometrice limitative pentru vizualizarea regimurilor staţionare ale generatorului de 210 MW.

echivalente, în care s-au păstrat generatorul analizat, maşina sincronă echivalentă restului sistemului şi o sarcină echivalentă pe barele de 220 kV. Ca şi în figura 1, păstrîndu-se aceleaşi notaţii, în figura 2 s-au reprezentat schemele REI şi imaginile nodale calculate cu reactanţa sincronă şi, respectiv, reactanţa tranzitorie.

În toate tipurile de imagini nodale obţinute pentru nodul studiat al reţelei se remarcă în primul rînd faptul că unghiul şi amplitudinea fazorului reprezentativ al maşinii sincrone echivalente restului sistemului se modifică foarte puţin în reprezentarea cu reactanţa sincronă, faţă de reprezentarea cu reactanţa tranzitorie, cu care a fost calculat. În al doilea rînd, amplitudinea acestui fazor este mult mai mare decît amplitudinea fazorilor generatoarelor analizate şi nu oferă informaţii în plus asupra comportării ansamblului. Ţinîndu-se seama de aceste observaţii, pentru a păstra pe ecranul anagrafului o scară convenabilă reprezentării clare a fazorului generatorului analizat, este indicat ca fazorul sistemului să nu fie reprodus integral, ci să se indice numai direcţia acestuia, menţionînd că în memoria calculatorului de proces sînt stocate coordonatele complete ale acestui fazor, care poate fi reprodus integral, la cerere.

## 3. Determinarea diagramei locurilor geometrice limitative

Pentru utilizarea mai complexă a imaginilor nodale, pe ecranul anagrafului se suprapune o diagramă a locurilor geometrice limitative şi a altor curbe caracteristice (fig. 3), ce permite determinarea regimului de funcţionare a generatorului şi a unor mărimi caracteristice acestuia, evidenţiind clar intrarea sau apropierea de regimurile periculoase.

Construcţia diagramei locurilor geometrice limitative are la bază următoarele ipoteze:

a) variaţiile sarcinilor sînt lente;

b) tensiunea nodului se menţine aproximativ constantă;

c) se neglijează saturaţia maşinii sincrone.

Diagrama din figura 3 cuprinde următoarele locuri geometrice limitative:

*AD* — limita superioară de putere activă, la funcţionarea de durată;

*BC* — limita inferioară de putere activă, corespunzînd minimului tehnic;

*DL* — limita impusă de curentul rotoric maxim;

*AE* — limita impusă de curentul statoric maxim;

*EC* — limita stabilităţii statice la funcţionarea generatorului cu regulator automat de tensiune;

*KH* — limita stabilităţii statice naturale, fără regulator de tensiune;

*GF* — limita impusă de încălzirea capetelor înfăşurărilor statorice;

*BD* — limita impusă de încălzirea circuitului rotoric.

Limitările impuse se pot grupa în două categorii, după cauzele care le-au determinat:

— limitări datorate caracteristicilor constructive ale generatorului analizat (curbele *AD*, *BC*, *DL*, *AE*, *GF* şi *BD*);

— limitări datorate condiţiilor de funcţionare electrică stabilă (curbele *EC* şi *KH*).

Din analiza diagramei din figura 3 se observă că limita *BD*, impusă de încălzirea circuitului rotoric, este mai restrictivă decît limita *DL*, impusă de curentul rotoric maxim admisibil. În condiţiile unei funcţionări în regim capacitiv, posibilităţile de încărcare a grupului sînt limitate de încălzirea puternică a părţilor frontale ale înfăşurărilor statorice (curba *FG*), şi nu de curba *AE* a curentului statoric maxim admisibil.

Curbele-limită ale încălzirii circuitului rotoric (*DL*) şi cele ale încălzirii părţilor frontale ale statorului în regim capacitiv (*FG*) sînt preluate de la firma constructoare.

Limitele superioară şi inferioară ale puterii active sînt impuse de parametrii constructivi ai generatorului: în partea superioară, dreapta puterii active maxime $P_n = 210$ MW (dreapta *AD*), în partea inferioară minimul tehnic de 25%, impus funcţionării de durată a grupului.

Limitele de stabilitate statică, cu sau fără regulator de tensiune, au fost determinate pe schema echivalentă generator-motor din figura 1, *a*.

Alături de locurile geometrice menţionate, pe diagrama din figura 3 s-au trasat şi alte curbe, cu ajutorul cărora se pot determina rapid diferite mărimi de stare ce caracterizează regimul electric de funcţionare a grupului. Familia de cercuri cu centrul în vîrful fazorului curentului de scurtcircuit în gol reprezintă locul geometric corespunzător curentului statoric exprimat în procente din curentul nominal.

De asemenea s-a trasat o familie de cercuri cu centrul în originea axelor de coordonate corespunzătoare curentului de excitaţie constant, exprimat în procente din valoarea curentului de excitaţie nominal.

Din vîrful fazorului curentului de scurtcircuit în gol s-a trasat un fascicul de drepte, corespunzînd diferiţilor factori de putere inductivi şi capacitivi.

Puterea activă a grupului se poate citi direct în MW, pe o paralelă la axa curentului wattat, iar puterea reactivă se poate citi direct în Mvar, pe o paralelă la axa curentului dewattat.

Se remarcă faptul că unghiul dintre fazorul de scurtcircuit în sarcină şi fazorul curentului de scurtcircuit în gol reprezintă unghiul intern al maşinii.

În figura 4 sînt prezentate cîteva imagini nodale obţinute pe ecranul anagrafului prin depunerea în simulatorul de memorie al instalaţiei de vizualizare [5] a valorilor antecalculate ale coordonatelor fazorului generatorului în studiu şi ale fazorului echivalent restului sistemului.

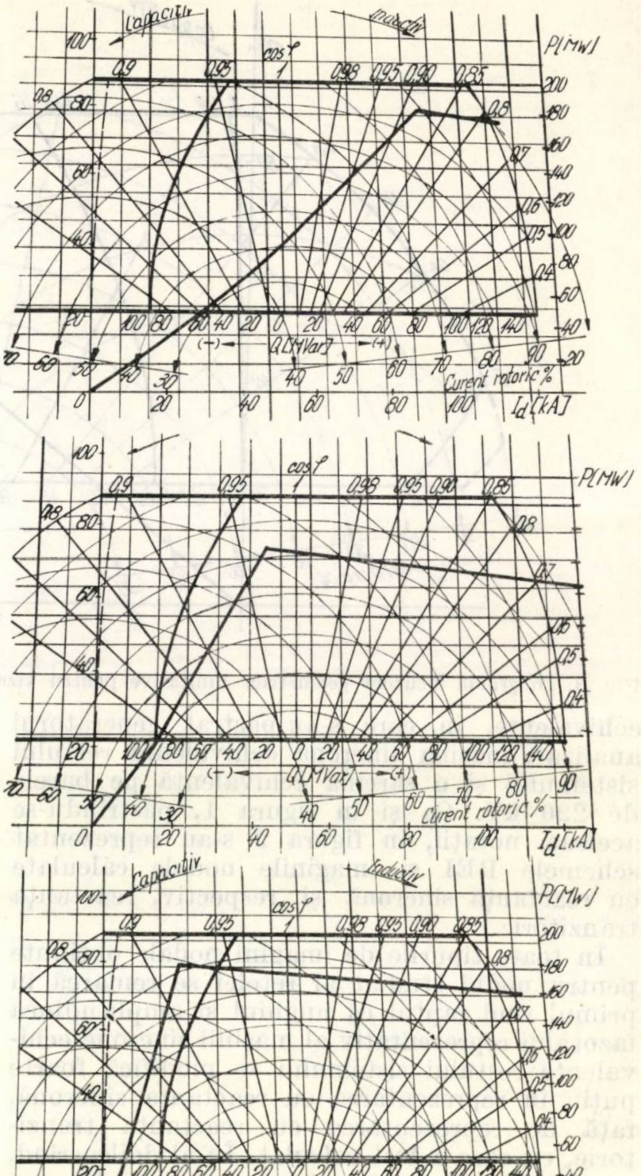



Fig. 4. Imagini nodale de grup obţinute experimental pe anagraf.

## Concluzii

Pentru analiza comportării unui grup dintr-o centrală electrică este indicată vizualizarea pe ecranul anagrafului a imaginii nodale din figura 1,*d*, corespunzătoare schemei generator-motor. Schema redă o situaţie acoperitoare

pentru analizele calitative, operative ale comportării ansamblului generator-sistem. Informaţiile obţinute de la o astfel de imagine pot fi considerabil îmbogăţite şi îmbunătăţite, prin suprapunerea peste imaginea obţinută în timp real a unei diagrame reprezentative a regimurilor-limită ale grupului. Este foarte important pentru exploatare să aibă la îndemînă un mijloc rapid de orientare asupra depărtării regimului real faţă de regimurile-limită ale generatorului. O astfel de reprezentare este mai completă decît diagrama Walker [7], construită în coordonatele $P$, $Q$.

Vizualizarea imaginii nodale a fazorului reprezentativ al grupului şi a fazorului restului sistemului permite obţinerea unui complex de informaţii referitoare la funcţionarea grupului. Astfel, din analiza poziţiei punctului de incidenţă a celor două fazoare faţă de curbele de funcţionare-limită rezultă :

— starea grupului comparată cu limita stabilităţii ;

— starea grupului comparată cu limita de încălzire.

Utilizînd un caroiaj etalonat de curbe caracteristice, se pot măsura următoarele mărimi electrice, corespunzătoare regimului de lucru al generatorului ;

— puterea activă a grupului ;
— puterea reactivă a grupului ;
— curentul de excitaţie ;
— curentul statoric ;
— factorul de putere ;
— unghiul intern al maşinii.

O altă concluzie ce se desprinde din analiza diagramei din figura 3 este aceea că funcţionarea capacitivă restrînge considerabil limita funcţionării de durată. Din intersecţia curbelor menţionate mai sus rezultă două regiuni :

I — regiunea *BDGFB* ;
II — regiunea *FGAECF*.

În cazul în care vîrful fazorului grupului se găseşte în prima regiune, este admisă funcţionarea de durată ; în cazul în care vîrful fazorului este situat în a doua regiune, nu se admite decît o funcţionare de scurtă durată. Această durată va fi determinată prin experimentări în condiţii reale de funcţionare în regim capacitiv a generatorului sau după indicaţiile furnizate de firma constructoare.

Pentru calcularea coordonatelor fazorului generatorului analizat şi ale fazorului restului sistemului de către elementele de adaptare sau calculatorul de proces, este necesară măsurarea permanentă în timp real a puterilor active şi reactive debitate de generator şi a tensiunii pe bara generatorului.

**Bibliografie**


[1] Dimo Paul. *Analiza nodală*. Bucureşti, Editura Academiei R.S.R., 1968.

[2] Dimo Paul şi Dimo Petre. *Instalaţie destinată analizei automate a sistemelor electroenergetice*. Certificat de autor OSI — 50 537/29.04.1966.

[3] Cristea, H. *Concepte figurative şi console de vizualizare pentru dialogul OM-MAŞINA în automatizarea calculului şi analizei regimurilor sistemelor electroenergetice*. Teză de doctorat, 1968.

[4] Cristea, H. *Posibilităţi de construire şi utilizare în ţară a consolelor de vizualizare pentru reţele electrice*. Raport prezentat la a doua Conferinţă a electricienilor, Bucureşti, 1969.

[5] Cristea, H., Heifler, D., Mitache, Th. şi Melinte, T. *Anagraf Dimo*. În: Studii şi cercetări de energetică şi electrotehnică, nr. 1, 1972.

[6] Dimo Paul, Groza, L., Moraite, G. şi Cristea, H. *L'amélioration de la sécurité en exploitation des réseaux à l'aide des consoles de visualisation* Raport CIGRE, 32—13, 1970.

[7] * * * *British Patent No. 568166. Application No. 13137, 1952.*


(Articol intrat in redacţie la 26 februarie 1972)

# Înlăturarea compuşilor cu vanadiu şi sodiu din zonele de temperatură înaltă, la arderea păcurii cu conţinut ridicat de sulf, în centrale

Ing. V. F. Bălan*)

Formarea de compuşi cu vanadiu şi sodiu sub formă de depuneri aderente, pe suprafeţele de schimb de căldură — unul dintre fenomenele însoţitoare ale procesului de ardere a păcurilor sufuroase — duce la scăderea intensităţii transmisiei de căldură din focar, la degradarea materialului refractar şi la reducerea duratei de funcţionare a echipamentului.

Elementul principal de formare a depunerilor îl constituie prezenţa substanţelor anorganice în combustibilul lichid şi mai ales a sărurilor şi a compuşilor cu vanadiu, care intră în reacţie cu anumite produse ale arderii, ca : trioxidul de sulf, bioxidul de sulf, oxigenul şi vaporii de apă din gazele de ardere. De exemplu, din

$$4NaCl + 2SO_2 + 2H_2O + O_2 \rightarrow 2Na_2SO_4 + 4HCl$$

rezultă sulfat de sodiu, respectiv vanadil vanadat de sodiu, care se găseşte, la temperaturile de ardere, în stare topită, din această cauză depunîndu-se.

*) Ing. Valentina F. Bălan este cercetător ştiinţific principal la ICENERG.

Alura reală a fenomenelor din timpul arderii este însă mult mai complicată. Formarea propriu-zisă a depunerilor constă mai ales în condensarea şi sublimarea compuşilor metalici şi alcalini gazoşi; ca urmare a răcirii rapide a gazelor pe suprafeţele de încălzire ale focarului, aceştia ajung în stare de suprasaturaţie, din care cauză se depun.

Prezenţa oxidului de vanadiu, care este un excelent purtător de oxigen, catalizează puternic oxidarea, conducînd la reacţii relativ rapide de oxidare între oxizii din cenuşa combustibilului şi metalul fasciculelor de ţevi.

Cînd pentaoxidul de vanadiu are rol de catalizator, reacţia de oxidare se explică prin formarea compuşilor intermediari instabili, după reacţia

$$V_2O_5 + SO_2 \rightarrow V_2O_4SO_3$$

$$V_2O_4SO_3 + 1/2\ O_2 \rightarrow V_2O_5 + SO_3$$

$$SO_2 + 1/2\ O_2 \rightarrow SO_3$$

În procesul catalitic participă nu numai elementele existente în păcură, ci şi substanţe ca oxidul şi sulfatul feric, care se formează prin atacarea acidă a pereţilor fasciculelor de ţevi în contact cu gazele de ardere, degradînd rapid suprafeţele de schimb de căldură

$$2\ Fe_2O_3 + 6\ SO_2 + 3O_2 \rightarrow 2\ Fe_2(SO_4)_3$$

$$2\ Fe_2(SO_4)_3 \rightarrow 2Fe_2O_3 + 6\ SO_3$$

$$6\ SO_2 + 3\ O_2 \rightarrow 6\ SO_3$$

După cum se observă, cataliza prin depunerile din zonele cu temperatură înaltă provoacă nu numai degradarea metalului, dar şi transformarea bioxidului de sulf în trioxid de sulf. Reducerea cantităţii de trioxid de sulf în gazele de ardere este, din această cauză, de o importanţă fundamentală pentru evitarea formării de depuneri pe cazan.

Depunerile şi coroziunea sînt strîns legate de calitatea combustibilului şi de condiţiile arderii. La rîndul lor, condiţiile de ardere sînt influenţate mult de excesul de aer cu care funcţionează cazanul.

Este cunoscut faptul că formarea de $SO_3$, ca şi formarea de depuneri, pot fi reduse considerabil în zonele cu temperatură înaltă prin reducerea oxigenului din zona flăcării. Totuşi, singur, acest procedeu nu rezolvă integral problema, ceea ce conduce la necesitatea de a mări avantajele obţinute prin funcţionarea cazanului cu exces minim de aer, prin folosirea unor aditivi care să dezactiveze catalizatorii de oxidare din păcură — oxizii de vanadiu şi de fier — şi să formeze alţi compuşi, care să nu intensifice interacţiunea metal—gaz de ardere, oxizii din păcură pierzînd astfel funcţiile de purtători de oxigen.

Dezactivatorul reacţionează chimic cu catalizatorul din păcură, blocîndu-le acţiunea catalitică prin formarea de compuşi bine definiţi, cu puncte de topire ridicate.

Experimentări pentru modificarea caracteristicilor fizico-chimice ale depunerilor formate din compuşi cu vanadiu şi sodiu, în vederea înlăturării lor, s-au făcut pe depuneri provenite din arderea păcurilor cu sulf (2,42—2,14%S), colectate de la unul din cazanele de 230 t/h de la CET Borzeşti.

Deşi perioada de funcţionare pe păcură sulfuroasă a cazanului a fost relativ scurtă (trei săptămîni), totuşi s-a putut constata că depunerile pe traseul gazelor de ardere au crescut foarte mult, fiind necesară o oprire a cazanului pentru curăţire, astfel ca temperaturile la economizor şi supraîncălzitor să ajungă la valorile de proiect.

Temperaturile la economizor după funcţionarea pe păcură sulfuroasă au atins valoarea de 260°C, pornind de la 200°C pe gaze şi 220°C pe păcură. De asemenea, la supraîncălzitor temperatura gazelor de ardere a crescut cu aproape 110°C pe perioada funcţionării cu păcură sulfuroasă, datorită apariţiei depunerilor masive.

Caracteristicile păcurii arse şi ale depunerilor sînt date în tabelele 1 şi 2.

Se remarcă o acumulare a conţinutului de vanadiu în zonele de temperatură înaltă (fig.1). $V_2O_5$ creşte de la 0,29% în cenuşa păcurii la 0,27% în depunerea colectată deasupra arză-

*Tabelul 1*

**Caracteristicile fizico-chimice ale păcurilor sulfuroase folosite la cazanul de 230 t/h de la CET Borzeşti**

| Distilat la 360°C | Distilat la 20°C | Inflamabilitate, °C | Congelare, °C | Viscozitate la 50°C, °E | Apă, % | Sediment, % | Cocs, % | Cenuşă, % | Sulf, % | Sodiu, % | Vanadiu, % | Siliciu, % | Aluminiu, % | Fier, % | Putere calorifică inferioară, kcal/kg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | 0,928 | 180 | +35 | 30 | 0,1 | 0,47 | 6,28 | 0.18 | 2,42 | 0,018 | 0,0082 | 0,004 | — | 0,0035 | 9500 |
| 9 | 0,952 | 177 | + 9 | 28,7 | 0,1 | 0,36 | 8,99 | 0,18 | 2,85 | — | — | — | — | — | 9500 |
| 7 | n.d. | 184 | +15 | 31 | 0,1 | 0,30 | 7,34 | 0,065 | 3,14 | — | — | — | — | — | 9500 |

Tabelul 2

**Modificarea compoziției oxidice a depunerilor funcție de temperatura și locul de depunere (la un cazan de 230 t|h de la CET—Borzești)**

| Simbol | Loc de prelevare | Temperatură, °C | $SiO_2$, % | $Fe_2O_3$ total, % | CaO, % | MgO, % | MnO, % | $P_2O_5$, % | $Na_2O$, % | $K_2O$, % | $SO_3$, % | $V_2O_5$, % | $Al_2O_3$, % | Pierdere la calcinare |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | Ecrane deasupra arzătoarelor | 950 | 0,40 | 41,89 | 0,70 | 3,50 | 0,14 | 0,22 | 1,58 | — | 47,26 | 0,27 | 0,50 | 3,54 |
| B | Supraîncălzitor treapta II | 850 | 5,39 | 11,26 | 9,39 | 1,12 | 0,03 | 0,23 | 0,34 | 14,50 | 37,80 | 3,92 | 4,00 | 12,02 |
| C | Supraîncălzitor treapta I | 570 | 5,95 | 9,56 | 7,90 | 2,40 | 0,04 | 0,23 | 17,20 | 0,24 | 41,40 | 5,70 | 4,05 | 5,53 |
| D | Deasupra economizorului | 530 | 0,56 | 5,52 | 2,03 | 1,08 | 0,04 | 0,03 | 25,40 | 0,41 | 54,00 | 3,92 | 1,48 | 3,76 |
| E | Ultimul pachet al economizorului | 525 | 10,30 | 10,00 | 9,20 | 1,83 | 0,04 | 0,14 | 14,20 | 0,43 | 43,70 | 1,60 | 5,30 | 8,59 |
| F | Ieşire economizor | 400 | 6,47 | 10,06 | 7,28 | 2,80 | 0,46 | n.d. | 17,50 | 0,38 | 43,70 | 0,78 | 1,98 | 8,59 |
| G | Deasupra preîncălzitorului | 400 | 3,68 | 8,07 | 7,83 | 2,24 | 0,05 | 0,12 | 6,28 | 0,16 | 42,60 | 4,63 | 3,40 | 20,94 |
| H | Înaintea ultimului pachet al preîncălzitorului | 260 | 0,73 | 8,51 | 7,56 | 2,80 | 0,43 | n.d. | 10,24 | 0,26 | 45,50 | 1,17 | 4,86 | 17,94 |
| I | Preîncălzitor aer ieşire | 160 | 0,14 | 29,52 | 0,70 | 1,55 | 0,03 | 0,18 | 2,15 | 0,09 | 48,60 | 1,39 | 1,12 | 14,43 |
| J | După ventilatorul de gaze | 100 | 1,78 | 18,75 | 4,62 | 2,15 | 0,16 | 0,20 | 5,85 | 0,08 | 45,29 | 2,18 | 1,24 | 17,70 |

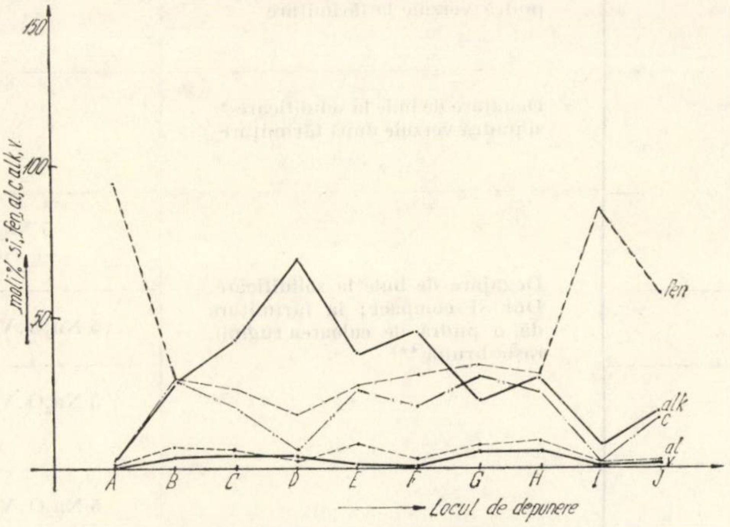



Fig. 1. Variația compoziției chimice în funcție de locul de depunere înainte de tratare cu dezactivator, la un cazan de 230 t/h de la CET Borzești.

Tabelul 3

**Punctele caracteristice ale cenușilor provenite din arderea păcurilor sulfuroase (la un cazan de 230 t/h de la CET Borzești)**

| Locul de prelevare a depunerilor (conform tabelului 2) | | A | B | C | F |
|---|---|---|---|---|---|
| Temperaturi caracteristice, °C | $t_1$ | 650 | 620 | 875 | 620—630 |
| | $t_2$ | 1 160 | 1 080 | 1 170 | 1 000 |
| | $t_3$ | 1 200 | 1 120 | 1 240 | 1 050 |

toarelor, la 3,92% în supraîncălzitor treapta a II-a și la 5,70% în depunerea colectată din supraîncălzitor treapta I. Alt component dăunător, $Na_2O$, crește de la 0,04% în cenușa păcurii sulfuroase la 1,58% în depunerea colectată din cazan deasupra arzătoarelor, la 17,20% în depunerea colectată din supraîncălzitor treapta I, ajungînd la 25,4% la ieșirea din supraîncălzitor.

Temperaturile de înmuiere sînt scăzute, între 620 și 630°C (tabelul 3).

Din tabelul 4, în care sînt redate aspectul și analiza unui amestec echimolecular de $V_2O_5$ și $Na_2SO_4$, încălzit timp de două ore la temperaturi cuprinse între 400 și 920°C, se observă că modificarea chimică a amestecului începe la 480°C, cu formarea de vanadil-vanadat de sodiu, care are punctul de înmuiere la 625°C [2].

Raportul de adaos și calculul coeficienților molari pentru condiții lipsite de depuneri sînt redate în tabelele 5 și 6 și în figura 2.

Temperaturile caracteristice $t_1$, măsurate în condiții de adaos, au crescut de la 620 la 980 și la 1 165°C, funcție de compoziția oxidică a cenușilor.

În figura 3 se arată temperaturile caracteristice ale depunerilor colectate de la cazanul de 230 t/h de la CET Borzești, tratate cu un dezactivator anorganic, așa cum se determină prin metoda microscopului de încălzire Leitz. Procesul de dezactivare menționat afectează stratul de oxid deja depus pe suprafețele supraîncălzitorului, astfel că depunerile formate vor

*Tabelul 4*

**Aspecte şi analiza unui amestec echimolecular de $V_2O_5$ şi $Na_2SO_4$ încălzit la temperaturi cuprinse între 400 şi 920°C**

| Tratament termic | Aspect | Reacţii posibile la analiza chimică |
|---|---|---|
| Amestec la origine | Pudră galbenă | $V_2O_5 + Na_2SO_4$ |
| După o încălzire de două ore la 400° C | Fără schimbări | $V_2O_5 + Na_2SO_4$ |
| După o încălzire de două ore la temperaturi succesive pînă la 440° C | Fără schimbări | $V_2O_5 + Na_2SO_4$ |
| 480 °C<br>520 °C<br>560 °C | Se schimbă în negru şi dă o pudră verzuie la fărîmiţare | $Na_2O.V_2O_4.5\,V_2O_5 + Na_2SO_4$ |
| 600 °C<br>640 °C<br>680 °C | Degajare de bule la solidificare *) şi pudră verzuie după fărîmiţare | |
| 720 °C | Degajare de bule la solidificare. Dur şi compact; la fărîmiţare dă o pudră de culoarea ruginii, roşie-brună **) | $5\,Na_2O.V_2O_5.11\,V_2O_5 +$ $+ Na_2O.V_2O_4.5\,V_2O_5$ **) |
| 760 °C | | $5\,Na_2O.V_2O_4.11\,V_2O_5 + Na_2SO_4$ |
| 800 °C | | $5\,Na_2O.V_2O_4.11\,V_2O_5$ **) |
| 840 °C | Degajare de bule la solidificare. Dur şi compact spre suprafaţă; la fărîmiţare dă pudră de culoarea ruginii, roşie-brună | $5\,Na_2O.V_2O_4.11\,V_2O_5 + NaVO_3$ |
| 880 °C | | $NaVO_3 + 5\,Na_2O.V_2O_4 + 11\,V_2O_5$ |
| 920 °C | | $NaVO_3 + 5\,Na_2O.V_2O_4 + 11\,V_2O_5$ |

*) Degajarea de bule la solidificare devine în mod progresiv mai puţin importantă după 600 °C
**) $Na_2SO_4$ este dificil de identificat şi prezenţa sa este constatată în mod efectiv în tratamentele efectuate la 720 şi la 800°C.

fi înlăturate încet sub formă de praf, cu punct de topire ridicat.

În privinţa păstrării cazanului fără depuneri, prin reducerea cantităţii de trioxid de sulf din gazele de ardere, se va avea în vedere experimentarea unui dezactivator pe bază de calciu.

Literatura de specialitate [1] indică un dezactivator organic care a dat rezultate la un agregat de 75 MW (530 t/h) încălzit cu păcură cu conţinut de 3% S. Dezactivatorul reacţionează chimic cu catalizatorii din păcură, blocîndu-le acţiunea catalitică prin formarea de compuşi bine definiţi.

Dacă se consideră $R - X$ molecula dezactivatorului adăugat în păcură înainte de ardere, în care $X$ este grupa activă şi $R$ radicalul organic, iar $CAT$ molecula catalizatorului, reacţia de dezactivare care se petrece în momentul arderii poate fi schematizată astfel:

$$nR - X + m\ CAT - n'CO_2 + n'H_2O + m'CAT - X.$$

Radicalul $R$ arde cu formare de $CO_2$ şi $H_2O$, în timp ce grupa activă $X$ se adaugă la catalizator, dezactivîndu-l. Acest lucru opreşte în mod semnificativ procesul de oxidare care provoacă formarea de trioxid de sulf şi conduce la reducerea lui.

Gazele din cazan au fost analizate şi verificate în ceea ce priveşte conţinutul de trioxid de sulf, înainte şi după folosirea dezactivatorului, în condiţiile unor cantităţi diferite de aer în exces. Rezultatele din figura 4 arată că trioxidul de sulf a atins 8 p.p.m. cu $O_2$ în pro-

*Tabelul 5*

**Cifre molare pe componenţi oxidici (depuneri tratate cu dezactivatori)**

| Simbol | Vialori Nigly | | A*) | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| al | Cifră molară $Al_2O_3$ | C.M. | 20,9 | 77,0 | 216,6 | 247,2 | 151,8 | 90,5 | 135,9 | 114,2 | 46,4 | 91,8 |
| | | % mol. | 3,2 | 13,5 | 29,7 | 36,5 | 22,7 | 14,8 | 26,0 | 20,0 | 9,4 | 17,4 |
| fm | Cifră molară $FeO+$ $+2Fe_2O_3$ $+MgO$ | C.M. | 601,0 | 161,7 | 145,3 | 72,4 | 153,1 | 164,3 | 139,8 | 168,0 | 392,6 | 362,7 |
| | | % mol. | 91,0 | 28,3 | 19,9 | 10,7 | 23,0 | 26,9 | 27,0 | 29,4 | 79,7 | 49,7 |
| C | Cifră molară $CaO$ | C.M. | 12,1 | 160,9 | 114,3 | 27,5 | 146,4 | 109,1 | 124,6 | 125,2 | 12,1 | 75,7 |
| | | % mol. | 1,8 | 28,2 | 15,7 | 4,1 | 21,9 | 17,8 | 24,0 | 21,9 | 2,5 | 14,3 |
| alk | Cifră molară $K_2O+$ $+Na_2O$ | C.M. | 25,0 | 151,0 | 226,1 | 314,0 | 208,2 | 243,5 | 91,8 | 155,8 | 34,2 | 87,4 |
| | | % mol. | 3,8 | 26,5 | 31,3 | 46,0 | 31,2 | 39,9 | 18,6 | 27,3 | 6,9 | 16,5 |
| V | Cifră molară $V_2O_5$ | C.M. | 1,4 | 20,7 | 25,4 | 16,2 | 2,8 | 3,6 | 22,6 | 6,0 | 7,3 | 11,0 |
| | | % mol. | 0,2 | 3,5 | 3,4 | 2,4 | 1,2 | 0,6 | 4,4 | 1,4 | 1,5 | 2,1 |
| Si | Cifră molară $SiO_2$ | C.M. | 3,0 | 86,1 | 80,3 | 7,0 | 155,8 | 90,5 | 54,7 | 11,2 | 2,3 | 27,1 |
| | | % mol. | 0,4 | 15,1 | 11,0 | 1,0 | 22,9 | 14,8 | 1,0 | 2,0 | 0,4 | 5,1 |

C.m. = cifră molară
% mol. = procente molare
A*) = locurile de depunere sînt conform tabelului 2

*Tabelul 6*

**Modificarea punctelor caracteristice ale depunerilor provenite din arderea păcurilor sulfuroase, după tratare cu dezactivator (la un cazan de 230 t/h de la CET Borzeşti)**

| Locuri de prelevare (conform tabelului 2 | | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Temperaturi caracteristice, °C | $t_1$ | 980 | 1000 | 1090 | 850 | 980 | 1165 | 800 | 860 | 1170 | 1170 |
| | $t_2$ | 1280 | 1140 | 1190 | 1285 | 1305 | 1525 | 1270 | 1400 | 1210 | 1500 |
| | $t_3$ | 1480 | 1240 | 1240 | 1390 | 1400 | 1560 | 1325 | 1520 | 1260 | 1660 |

$Al_2O_3 : V_2O_5 = 2 : 1$
$Al_2O_3 : N_2O = 1 : 1$

$t_1$ – temperatură de inmuiere
$t_2$ – temperatură de topire
$t_3$ – temperatură de curgere

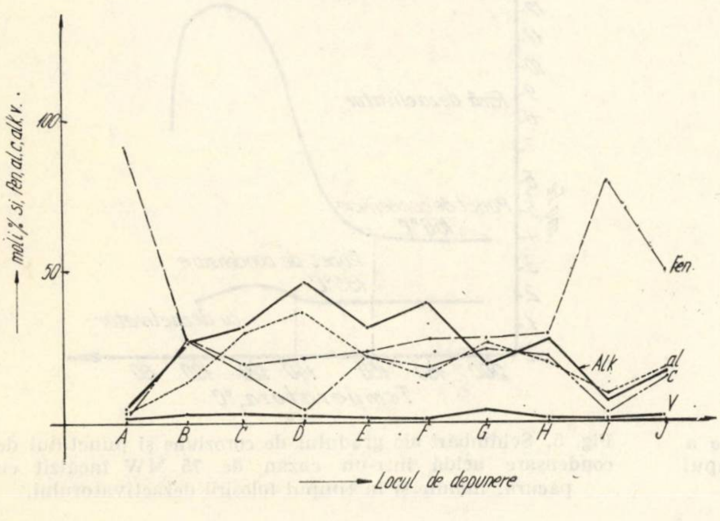



Fig. 2. Variaţia compoziţiei chimice în funcţie de locul de depunere, după tratarea cu dezactivator, la cazanul de 230 t/h de la CET Borzeşti.

porţie de 2,3% şi 30 p.p.m. cu $O_2$ în proporţie de 3%, fără tratament de dezactivator. După adăugarea dezactivatorului, conţinutul de trioxid de sulf a scăzut în mod continuu, concomitent cu o curăţire progresivă a cazanului,

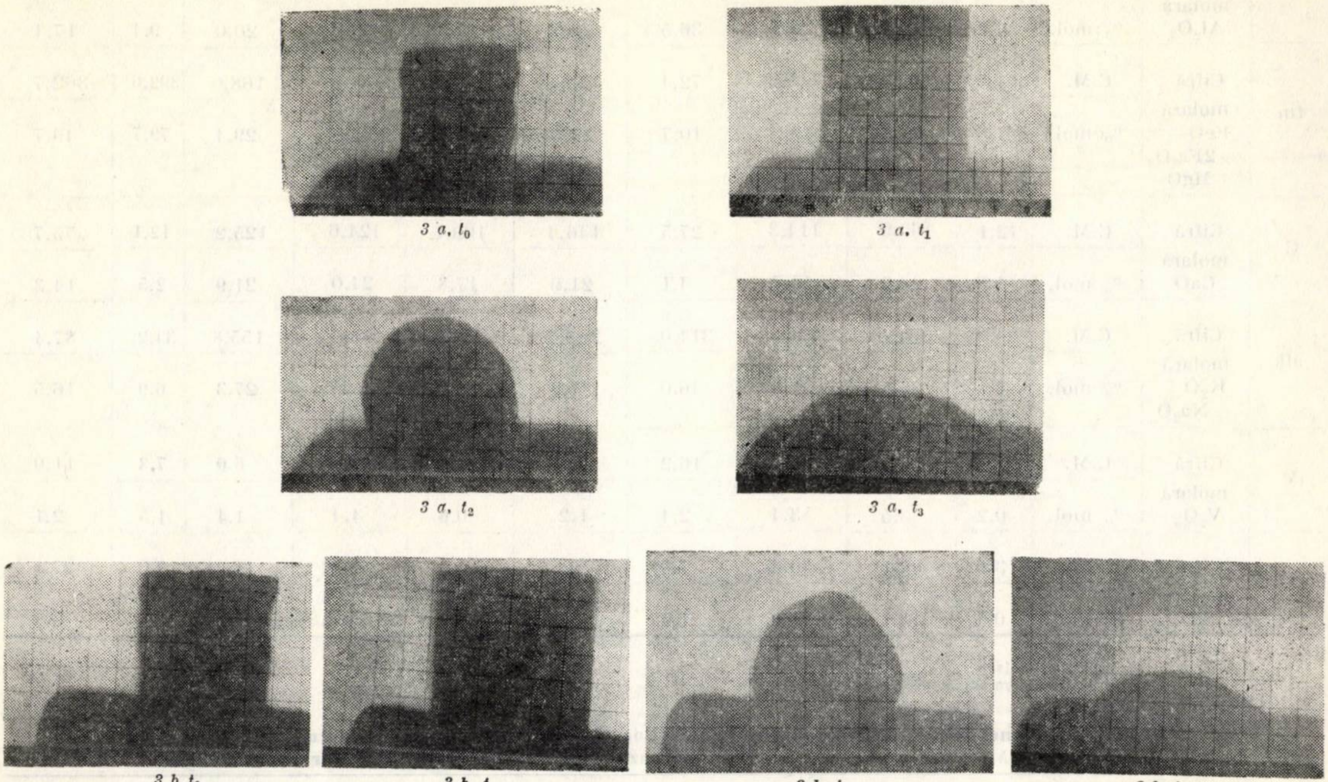



Fig. 3. Temperaturile caracteristice ale depunerilor la cazanul de 230 t/h de la CET Borzeşti: $t_0$–temperatura iniţială; $t_1$–temperatura de înmuiere; $t_2$–temperatura de topire; $t_3$– temperatura de curgere. a – supraîncălzitor treapta I, b – supraîncălzitor treapta a II-a.

şi s-a fixat la sfîrşit la un nivel cuprins între 2 şi 4 p.p.m., corespunzînd valorilor de oxigen de 2,3–3,1%.

În acelaşi timp, odată cu analiza conţinutului de $SO_3$ din gazul de ardere s-au efectuat şi probe de coroziune, pentru a determina în mod experimental punctul de condensare. Comparînd datele obţinute înaine şi după folosirea dezactivatorului (fig. 5), se constată că punctul de condensare a crescut de la aproximativ 160 la 185°C. De asemenea, după folosirea dezactivatorului cantitatea de praf creşte

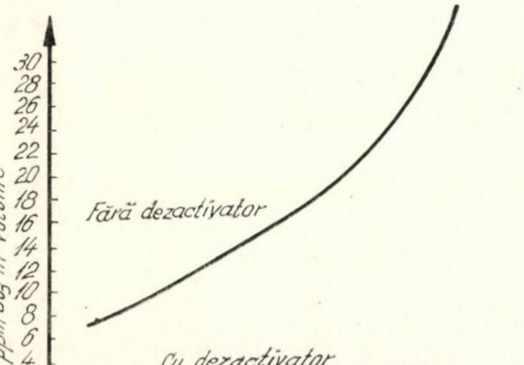



Fig. 4. Variaţia conţinutului de $SO_3$ în gazul de ardere a cazanului de 75 MW, încălzit cu păcură, înainte şi în timpul folosirii dezactivatorului.

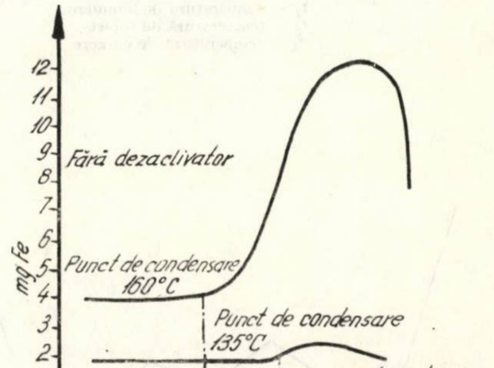



Fig. 5. Schimbări ale gradului de coroziune şi punctului de condensare acidă într-un cazan de 75 MW încălzit cu păcură, înainte şi în timpul folosirii dezactivatorului.

în mod semnificativ şi atinge, la început, de trei ori valorile anterioare, datorită înlăturării lente a depunerilor în zonele de temperaturi înalte. Punctul de topire a depunerilor creşte de la aproximativ 630 la 950°C. După cum se observă, rezultatele experimentale obţinute concordă cu datele din literatura de specialitate [1].

Punctele caracteristice ale cenuşilor provenite din arderea păcurii cu conţinut de 3% sulf (cazan de 230 t/h de la CET Borzeşti) au fost ridicate peste 950°C, prin tratare cu dezactivator în proporţie 1 : 1 faţă de conţinutul de $Na_2O$ şi 2 : 1, faţă de conţinutul de $V_2O_5$. În acest caz, depunerile aderente pe suprafeţele de schimb de căldură vor fi înlăturate uşor, sub formă de praf cu punct de înmuiere ridicat.

Cercetările de laborator privind folosirea dezactivatorilor de oxidare la ridicarea punctelor caracteristice vor servi ca referinţă în cadrul experimentărilor la scară industrială pentru eliminarea depunerilor din zonele cu temperaturi înalte, la arderea în centrale a unor păcuri cu conţinut ridicat de sulf şi vanadiu.

**Bibliografie**


[1] B a r t o l e t t i, M. şi W i c h s e r, B. *Recent Experiences with Organic additives to Prevent Corrosion and Fouling of High and Low-Temperature Surfaces in High-Pressure Steam.* În: Combustion, 5, 1967.

[2] T i p l e r, W. şi D e a c o n, J. H. *Depôt et corosion provoqués dans les générateurs de vapeur par les cendres de mazout.* Rapp. de la Division Oil Product Development.

[3] C a r a b o g d a n, I., M i n e a, I., D ă m ă c e a n u, E. şi B ă l a n, F. V. *Determinarea oxizilor de sodiu şi temperaturilor caracteristice ale cenuşilor.* Contract 24/1969 ICENERG – ICPET.

[4] B ă l a n, F. V. *Cercetări privind înlăturarea compuşilor cu vanadiu şi sodiu din zonele cu temperatură înaltă, la arderea păcurii cu conţinut ridicat de sulf în centrale.* Comunicare la Consfătuirea tehnico-ştiinţifică C.N.I.T – M.E.E., Braşov, 3–4 iulie 1970.



**(Articol intrat în redacţie la 7 decembrie 1971)**


# Recenzii

C.I. PENESCU. **Sisteme de protecţie de distanţă.** Ed. Acad. R.S. România, Bucureşti, 1971.

Cartea prof. C. I. Penescu, „Sisteme de protecţie de distanţă", reprezintă, prin problematica abordată, prin conţinutul şi nivelul de tratare, o lucrare cu totul deosebită în literatura de specialitate de la noi şi din străinătate.

Caracterul nou, deosebit faţă de alte lucrări apărute în acest domeniu, constă în primul rînd în faptul că ea prezintă într-un mod sintetic atît problemele legate de principiile de funcţionare şi construcţie a protecţiilor de distanţă (de la primele tipuri şi pînă la cele mai moderne), cît şi un studiu aprofundat al tuturor fenomenelor din sistemele energetice care pot influenţa comportarea protecţiilor de distanţă, în ambele domenii insistîndu-se în special asupra aspectelor mai puţin cercetate, folosindu-se metodologii de analiză şi de calcul originale. Acest caracter este conferit, în al doilea rînd, de prezentarea în detaliu (cu datele de proiectare şi rezultatele experimentale) a sistemului de protecţie de distanţă statică, imaginat şi brevetat de autor, bazat pe principiile calculului hibrid şi al comparaţiei prin metoda comparaţiei simultane amplitudine-fază, brevet care a întrunit o largă apreciere internaţională în cercurile de specialişti.

În capitolul consacrat fenomenelor din sistemele energetice care influenţează esenţial comportarea protecţiilor de distanţă, se acordă o atenţie deosebită pendulaţiilor, efectelor paralelismului liniilor şi implicaţiilor liniilor lungi, compensate şi necompensate, precum şi fenomenelor tranzitorii în transformatoarele de măsură, folosindu-se metodici proprii de calcul şi aproximare.

Trebuie relevată în special tratarea problemei pendulaţiilor, care, după cum se ştie, constituie fenomenul perturbator cel mai important al funcţionării protecţiei de distanţă şi, în acelaşi timp, cel mai dificil de considerat în practică, datorită multiplilor factori care îl influenţează.

Pe baza unui studiu aprofundat (a cărui bază de calcul — originală — este prezentată în conţinutul lucrării şi în anexe) se prezintă metodologia analitică şi grafo-analitică de determinare a unghiului şi a perioadei de oscilaţie în funcţie de timp şi, în final, a impedanţei aparente în timpul pendulaţiilor $Z = Z(t)$. Metodologia de determinare a impedanţei aparente în timpul pendulaţiilor $Z = Z(t)$ este de mare importanţă practică, ea permiţînd alegerea parametrilor protecţiei în funcţie de condiţiile concrete ale sistemului, în aşa fel încît să se evite declanşări false la pendulaţii.

Pentru liniile lungi, compensate şi necompensate, precum şi pentru liniile paralele, se stabilesc, pe baza analizei fenomenelor şi a relaţiilor cantitative, expresiile impedanţelor aparente aduse releelor în diferitele regimuri de funcţionare şi de defect posibile, capitolele acestea prezentînd astfel atît un interes general pentru cunoaşterea problemei, cît şi un interes practic imediat.

Prezentîndu-se comportarea transformatoarelor de curent şi a celor de tensiune (inductive şi capacitive) în regim tranzitoriu, se determină — folosindu-se aproximări corespunzătoare — expresiile mărimilor secundare, care permit în final analiza funcţionării protecţiei de distanţă.

Astfel, pentru curentul de scurtcircuit în regim tranzitoriu este folosită relaţia aproximativă $i = I\,(e^{-\beta t} - \cos \omega t)$ şi se elaborează o metodică de calcul aproximativ al funcţiei sinusoidale prin $X = kt$ pentru $-\frac{\pi}{2\omega} \leqslant t \leqslant \frac{\pi}{2\omega}$ şi $X = -kt + X_0$ pentru $-\frac{\pi}{2\omega} \leqslant t \leqslant \frac{3\pi}{2\omega}$. Pentru caracteristica de magnetizare se folosesc în studiul fenomenelor atît o caracteristică ideală discontinuă (cu salt) cît şi una idealizată (cu magnetism remanent nul şi, respectiv, cu magnetism remanent diferit de zero). Se dau indicaţii privind modul de alegere (cu considerarea aproximaţiilor adoptate) a parametrilor schemelor echivalente ale transformatoarelor de curent şi tensiune pentru a se obţine cu ajutorul lor expresiile mărimilor secundare şi, în final, expresia impedanţei aparente la bornele protecţiei de distanţă.

Capitolul 3 al lucrării este consacrat analizei elementelor constitutive esenţiale ale protecţiei de distanţă, princi-

piilor constructive ale acestora, funcționării lor, erorilor și efectelor acestora.

Analiza elementelor cantitative și a principiilor lor de funcționare se face pornindu-se de la o metodică generală de definire analitică a tuturor tipurilor de caracteristici de acționare în planul $R$, $X$, obținîndu-se o vedere de ansamblu a tuturor tipurilor de protecție de distanță ; se arată și modul de obținere a acestora, analizîndu-se apoi performanțele și comportarea în diverse regimuri de funcționare cu ajutorul caracteristicilor $U = f(I)$, $Z = f(I)$, $Z = f(U)$.

Se prezintă principiile de realizare a elementelor de pornire și măsură pe baza comparației de amplitudine și de fază, efectuîndu-se apoi o analiză calitativă și cantitativă a erorilor proprii fiecăruia dintre aceste principii. În același capitol se prezintă și principiile de realizare a protecțiilor de distanță pe baza comparației amplitudine-fază, principii elaborate de autor, asupra cărora se revine în ultimul capitol, analizîndu-se și aici erorile metodei; prezentarea principiilor de realizare, a părților constitutive și a caracteristicilor protecțiilor de distanță are astfel un caracter de sinteză. În analiza erorilor diferitelor tipuri de protecție de distanță, datorate insensibilității și neliniarității, se prezintă metode de aproximare a variației în jurul punctului de precizie infinită (aproximație prin serie Taylor).

În capitolul 4, pornindu-se de la cerințele sistemului energetic față de protecțiile de distanță și pe baza analizei efectuate în capitolele anterioare asupra diverselor tipuri de protecții, a caracteristicilor lor și a comportării lor în diversele regimuri de funcționare, se prezintă criteriile de alegere a caracteristicilor protecțiilor de distanță celor mai adecvate și a parametrilor de acționare, prezentarea constituind primul studiu detaliat în această problemă.

Capitolul 5 este consacrat prezentării releelor de protecție bazate pe principiul comparației amplitudine-fază de tip monofazic, RDT 1, și trifazic, RDT 2, realizate și brevetate de autor. Sînt descrise detaliat atît principiile de funcționare, cît și realizările efective, cu toate datele de proiectare și rezultatele experimentale obținute; se descrie și soluția utilizînd circuite integrate, care este, de asemenea, brevetată de autor și care este prima soluție de acest gen. Se prezintă posibilitățile de obținere a oricărui tip de caracteristică necesar și erorile corespunzătoare, rezultînd avantajele protecției.

Lucrarea conține o serie de anexe de calcul pentru diversele metodologii originale de analiză, prezentate în text.

După cum s-a menționat la început, lucrarea are, atît prin structură cît și prin tratarea problemelor abordate, un pronunțat caracter original, întrucît, în afara prezentării releelor imaginate de autor și a aspectelor teoretice interesînd toate tipurile de protecții de distanță tratate, conține importante contribuții originale la analiza și metodologia de calcul utilizate.

Lucrarea prezintă în ansamblul ei un interes deosebit pentru cei ce vor să aprofundeze problemele de protecție prin relee, printre care cele ale protecției de distanță sînt esențiale; ea este, de asemenea, extrem de utilă cercetătorilor și proiectanților electroniști. Pentru ambele categorii de specialiști, lucrarea răspunde unei necesități foarte actuale, întrucît dezvoltarea rețelei de 220 kV și apariția celei de 400 kV în sistemul nostru energetic impun atît cunoașterea aprofundată a fenomenelor, cît și folosirea unor sisteme de protecție moderne, care, prin caracteristicile lor, să răspundă cerințelor acestor rețele. Prin problematica tratată și prin prezentarea detaliată a datelor constructive ale tipurilor de protecție bazate pe principiul comparației amplitudine-fază, lucrarea răspunde acestor cerințe.

Ing. I. Chenzbraun

# Informații tehnice

Pentru consumatorii industriali cu puteri mari, cum sînt combinatele chimice și cele metalurgice, care în același timp sînt surse de poluare puternică a izolației, se impun pe plan mondial soluții de stații interioare.

În U.R.S.S., institutul „Promenergoproiekt" a elaborat un proiect-tip de stație interioară cu bare duble și bare de transfer, în clădire din beton armat prefabricat și elemente metalice.

Volumul construit pe celulă este de 7 034 $m^3$. Schema stației este cu bare duble și de transfer, cu un întreruptor pe circuit, cu posibilitatea legării tuturor elementelor la bara de transfer. Întreruptorul de cuplă transversală poate fi combinat cu cel de transfer.

Aparatajul folosit este de tip exterior. Întreruptoarele sînt VVB—220—12, de 1 000 A, 12 000 MVA putere de rupere, antiexplozive. Pentru montarea în încăpere s-a obținut acordul furnizorului (uzina „Electroaparat"). Separatoarele sînt cu două coloane de tip RLND—220/1000 acționate cu dispozitiv PDN—1. Transformatoarele de tensiune sînt NKF—220—58, descărcătoarele RVMG—220 M, izolatoarele de trecere interior-exterior GMBL—220/1 000, umplute cu ulei, iar izolatoarele-suport de tip ȘO—2. Transformatoarele de curent sînt de tip TFND—220—1.

Barele colectoare, realizate din două conductoare pe fază de OL—Al—240$mm^2$ cu, distanțoare standardizate de 120 mm, sînt susținute pe lanțuri de izolatoare obișnuite, de tip 15 PF-6B.

Întregul echipament este amplasat într-o hală de 84 m cu deschiderea de 36 m și înălțimea de 16,2 m la baza formei de acoperiș. Pasul celulei este de 12 m, ceea ce a permis folosirea elementelor prefabricate tipizate.

Ferma este metalică, la fel ca și carcasa pentru susținerea panourilor prefabricate. În cazul utilizării panourilor de 6 m se montează elemente intermediare de susținere din 6 în 6 m, tot metalice. De asemenea, suportul aparatelor este metalic, cu fundații monolit.

S-au efectuat calcule și pentru varianta cu carcasă din beton armat prefabricat în locul structurii metalice, dar costul clădirii în acest caz crește cu 16 %. Distanța dintre fazele barelor colectoare este de 4 m, dintre sistemele de bare de 3,25 m, între fazele întreruptoarelor de 3,6 m, iar între întreruptoarele din celulele vecine, de 4,8 m. Echipamentul este amplasat la înălțimea de peste 2,2 m, cu excepția întreruptorului, care este amplasat pe sol și îngrădit cu plasă.

Sub transformatoarele de tensiune din celula de măsură sînt amplasate compresoarele de aer comprimat la cota 0, peste care s-a creat un palier pentru panourile de protecție, cu un pod fals de cabluri. Iluminatul s-a realizat cu corpuri de iluminat fixate la 3 m înălțime pe pereții laterali și pe ferma de acoperiș.

Montajul se realizează cu automacara, stivuitoare și platforme telescopice. La nivelul barelor colectoare sînt realizate platforme de deservire.

Distanțele permit lucrul la circuite în revizie aflate lîngă circuite sub tensiune.

Costul unei stații cu șapte celule în prețuri de deviz este prezentat în tabelul 1, în mii ruble.

*Tabelul 1*

| Lucrări | Valoarea de deviz | | | Costul total de deviz |
|---|---|---|---|---|
| | Construcții | Montaj | Echipament | |
| Lucrări generale de construcții | 316,87 | — | — | 316,87 |
| Ventilații | 3,74 | — | — | 3,74 |
| Echipament electric | — | 74,88 | 553,36 | 628,24 |
| Iluminat | — | 7,44 | — | 7,44 |
| Total: | 320,61 | 82,32 | 553,36 | 956,29 |

*(Electriceskie stanții, nr. 1, 1972)*

În zona Volgograd în instalațiile de 35-220 kV s-au folosit unsori hidrofobe, pe bază de produse petroliere. Aceste unsori nu au dat rezultate satisfăcătoare datorită duratei scurte de saturație și greutăților întîmpinate la înlocuirea lor.

Din anul 1970, prin utilizarea unsorii siliconice KV—3, situația s-a îmbunătățit simțitor, conturnările dispărînd total. Durata de viață a unsorii este de minimum un an, cu excepția zonelor din apropierea uzinei de aluminiu, unde datorită emanațiilor mai agresive se înlocuiește la 4—6 luni.

*Tabelul 1*

| Indicatorul | KV-3/10 E | KV-3/10 | KV-3/14 |
|---|---|---|---|
| Gradul de penetrație, unități relative | 255-300 | ⩽300 | ⩽350 |
| Stabilitatea coloidală după menținerea la 200°C 24 ore,% | ⩽8 | ⩽8 | ⩽7 |
| Volatilizarea după menținerea 24 ore la 200°C,% | ⩽2 | ⩽2 | ⩽2 |
| pH | 6,0-7,0 | 6,0-7,0 | 6,0-7,0 |
| Rigiditatea dielectrică la 50 Hz, kV/mm | | | |
| la 20°C | ⩾15 | ⩾10 | ⩾15 |
| la 150°C | ⩾10 | ⩾15 | ⩾10 |
| după expunere 24 ore la aer cu umiditatea relativă de 95-98% | | | |
| la 20°C | ⩾10 | ⩾10 | ⩾10 |
| Rezistivitatea, ohmi, cm | | | |
| la 20° C | $\geqslant 10^{14}$ | $\geqslant 10^{14}$ | $\geqslant 10^{14}$ |
| la 150° C | $\geqslant 10^{12}$ | $\geqslant 10^{12}$ | $\geqslant 10^{12}$ |
| după expunere 24 ore la aer cu umiditatea relativă de 95-98% la 20°C | $\geqslant 10^{12}$ | $\geqslant 10^{12}$ | $\geqslant 10^{12}$ |
| Tangenta de delta la frecvența de 1 MHz | | | |
| la 20°C | ⩽0,005 | ⩽0,005 | ⩽0,005 |
| la 150°C | ⩽0,007 | ⩽0,007 | ⩽0,007 |
| după expunere 24 ore la aer cu umiditatea relativă de 95-98% la 20°C | ⩽0,007 | ⩾0,007 | ⩽0,007 |

(Elektriceschie stanții, nr. 2, 1972)

Grosimea stratului de unsoare este de 0,1—0,3 mm, pentru condiții generale de poluare, în zona uzinei de aluminiu folosindu-se straturi de 0,5—0,7 mm.

Caracteristicile unsorilor hidrofobe sînt redate în tabelul 1.

Încercările electrice comparative, efectuate conform metodologiei din GOST 10390—63 au arătat că tensiunile de conturnare sub ploaie ale izolatoarelor tratate au valori cu 35—50% mai mari decît cele ale izolatoarelor netratate cu unsori siliconice, chiar după o perioadă de peste 1—2 ani.

Pe lîngă fabrica de articole ceramice din Hermsdorf (R.D.G.) a fost dat în folosință un nou laborator de înaltă tensiune pentru efectuarea încercării izolației externe a aparatelor și liniilor aeriene, cu tensiuni nominale de 1 500 kV și mai mult.

Pentru efectuarea încercărilor în gama tensiunilor nominale pînă la 220 kV, laboratorul dispune de o hală de 22 × 18 m², cu încăperile anexe. În hală se află un transformator de 600 kV, 3,3 A, 2 000 kVA, un generator de impuls de 2 400 kV, 48 kJ, precum și un condensator de măsură de 600 kV și o instalație de ploaie artificială. În încăperile anexe, se dispune de un generator de impuls de curent, pentru verificarea descărcătoarelor, și de un stand de încercări mecanice ale izolatoarelor la întindere, încovoiere, sarcini dinamice și statice, precum și la vibrații cu frecvențe de 0,1 Hz.

Încercările la tensiuni superioare se preconizează a se efectua în exterior. În acest scop pe platforma exterioară s-au montat o cascadă de transformatoare de încercare de 2 250 kV (3 × × 750) și un generator de impuls de tensiune de 7 200 kV, 312 kJ, precum și trei portali metalici de 70 m înălțime, cu distanța dintre stîlpi de 60 m. Pe portali sînt prevăzute diverse utilaje electrice, de ridicat cu comandă de pe sol. Suprafața platformei exterioare de încercări de lîngă cascada de transformatoare are 6 400 m². Generatorul de impuls poate fi legat în paralel pentru producerea undelor lungi de 200/2 000 μs avînd în această schemă tensiunea nominală de 3 600 kV și amplitudinea maximă a undei de 2 500 kV.

Pentru studiul poluării izolației s-au prevăzut un transformator în cascadă de 3 × 110 kV, 100 A, cu reactanță de 1,5%, o instalație automată de depunere a stratului poluant simultan pe patru izolatoare tip VKLS, o instalație de curent continuu de 1 500 kV, 300 mA. Comanda și supravegherea se efectuează din camera de comandă situată la etajul 2 al clădirii anexe. Laboratorul este dotat cu aparatură de măsură corespunzătoare.

Întregul laborator ocupă o suprafață de 85 000 m². Echipamentul de bază a fost montat din anul 1969.

*(Leistungskatalog der Hochspannunsprüffelder Kombinat VEB Keramische Werke Hermsdorf și Energohozeaistvo za rubejom*, nr. 1., 1972

După statistici ONU consumul total de energie de locuitor exprimat în unități de cărbune și pe țări se prezintă astfel:

| | |
|---|---|
| S.U.A. | 10,8 t/locuitor |
| Canada | 8,8 " |
| Cehoslovacia | 6,1 " |
| Suedia | 5,8 " |
| R. D. Germană | 5,7 " |
| Belgia | 5,4 " |
| Australia | 5,2 " |
| Anglia | 5,1 " |
| R. F. a Germaniei | 4,9 " |
| Olanda | 4,7 " |
| Norvegia | 4,4 " |
| U.R.S.S. | 4,2 " |
| Polonia | 4,1 " |

*(ETZ-B, R.F.G., 1971 nr. 24 p. 623*

Centrala electrică suedeză Marviken inițial trebuie să fie dotată cu un reactor cu apă grea. După ce s-au cheltuit în acest scop 100 milioane dolari, construcția reactorului a fost sistată și urmează a se construi o termocentrală de 200 MW pe combustibil lichid.

*(Energie, R.F.G. nr. 11, 1971, p. 376)*

În R. F. a Germaniei sînt în curs formele pentru construcția unei noi centrale nucleare, de 1306 MW bruto, cu un reactor cu apă în fierbere de 3690 MW, la 34 km de Hamburg, la Geesthacht. Construcția va începe în 1972 și se va termina în cinci ani.

La 22 octombrie 1971 reactorul cu apă în fierbere de 670 MW de la Würgassen a devenit critic. În miezul reactorului se găsea încărcătura completă de 86 t $U^{235}$ îmbogățit cu 2,2% în 444 elemente combustibile. Cu aceste elemente combustibile se va realiza o producție de $15 \cdot 10^9$ kWh, echivalentă cu o cantitate de cărbune de $5.10^6$ t.

În 1970 R. F. a Germaniei a importat și exportat combustibil nuclear astfel:

| Import | | Export | |
|---|---|---|---|
| $U_{nat} + {}^{234}U + {}^{236}U$ îmbogățit | 33305 kg | $U_{nat} + {}^{234}U + {}^{236}U$ îmbogățit | 6404 kg |
| Uraniu natural | 28536 kg | Uraniu natural | 12698 kg |
| Uraniu îmbogățit 10% $^{235}U$ | 186713 kg | Uraniu îmbogățit 10% $^{235}U$ | 46625 kg |
| Uraniu îmbogățit 10—25% | 61 kg | Uraniu îmbogățit 10—25% $^{235}U$ | 70 kg |
| Uraniu îmbogățit pînă la 85% $^{235}U$ | 378 kg | Uraniu îmbogățit 25—85% $^{235}U$ | 120 kg |
| Uraniu îmbogățit peste 85% $^{235}U$ | 182 kg | Uraniu îmbogățit peste 85% $^{235}U$ | 177 kg |
| Plutoniu 239 și alți izotopi Pu | 113 kg | Plutoniu 239 și alți izotopi Pu | 183 kg |
| Thoriu | 6174 kg | Thoriu | 736 kg |

Comisia energiei atomice daneză, în raportul anual pe 1971, arată că, făcînd comparație între un bloc nuclear de 800 MW cu apă grea și unul cu apă în fierbere, a stabilit că energia produsă costă cu 5...10% mai mult în cazul reactorului cu apă grea. Nu este însă exclus ca în viitor diferența să se micșoreze printr-o tehnologie îmbunătățită și un preț mai mare al uraniului.

General Electric Company construiește în Iran, lîngă Alwaz, o termocentrală de 145 MW care va consuma gaze și păcură.

*(BWK, nr. 1 1972, p. 34—37)*

Arabia Saudită are prevăzută în planul cincinal electrificarea orașelor Riad, Jidah, Meka, Taif, Medina și Al-Harsa, cu o valoare de 90 milioane dolari. Puterea instalată va fi de 170 MW, curentul 220/380 V, 50 Hz.

Pînă în 1976 S.U.A. va construi o instalație de cercetare pentru a transforma energia solară în putere electrică de 100 MW. Căldura solară se transportă cu ajutorul sodiului lichid la un rezervor de sare topită, care servește și de acumulator de noapte. Rezervorul de sare la temperatura de 550°C produce abur pentru acționarea turbinelor.

*(ETZ–B, nr. 25, 1971, p. 645)*

În condițiile unei concurențe foarte mari, o firmă japoneză a primit comanda a două turbogeneratoare de 300 MW, din partea întreprinderii New-Brunswick din S.U.A., pentru distribuția energiei electrice.

În S.U.A. se studiază construirea unui al doilea reactor rapid cu regenerare, care va costa 1,65 miliarde dolari.

*(ETZ–B, R.F.G. nr. 26, 1971, p. 669)*

În S.U.A. se construiește primul reactor rapid de demonstrație de 350... 500 MW, care va costa circa 500 milioane dolari. Acest prototip, folosind sodiu topit, trebuie să servească ca model pentru dezvoltarea industrială a reactoarelor rapide de 1000 MW. Prima încărcătură va avea 23 % plutoniu și 77 % oxid de uraniu.

*(L'usine Nouvelle, nr. 9, 1972, p. 48)*

*Între 16 și 20 august 1972 va avea loc la Kiev a VII-a Conferință internațională de energetică industrială, în a cărei tematică sînt cuprinse următoarele probleme :*

*1. Metodele și practica elaborării bilanțurilor energetice în întreprinderile industriale.*

*2. Termoficarea industrială și perspectivele ei de dezvoltare.*

*3. Metodele și practica elaborării normelor de consum energetice, ca instrument de planificare curentă și de perspectivă a consumurilor de energie și ca metodă de creștere a eficienței utilizării energiei.*

*4. Optimizarea investițiilor energetice în întreprinderile industriale.*

*5. Optimizarea soluțiilor de alimentare cu energie, din punctul de vedere al siguranței în funcționare.*

*6. Perfecționarea tehnică și economică a echipamentelor termotehnice și electrotehnice.*

*7. Eficacitatea recuperării resurselor energetice secundare.*

*Coordonarea participării specialiștilor din R.S.R. la această conferință internațională este asigurată de Consiliul Național al Inginerilor și Tehnicienilor.*

*Instituțiile care doresc să trimită delegați, ca și persoanele care doresc să participe pe cont propriu la această conferință, sînt invitate a se adresa C.N.I.T. (tov. ing. Palade, telefon 15.03.76), unde vor putea consulta și prospectul-program complet al conferinței, în care se precizează toate condițiile de participare.*

**Revista „ENERGETICA" – organ al Ministerului Energiei Electrice și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din R.S. România (CNIT). Redacția: București, str. Galați nr. 5–7, Sectorul II, Tel. 13 66 83, 13 00 53. Instituțiile pot achita abonamente pentru biblioteci și cabinete tehnice în contul nostru de virament nr. 30.01 01.00 B.N.R.S.R. – Sectorul VI. Tarif pentru întreprinderi lei 100 anual. Tarif pentru muncitori, tehnicieni și ingineri lei 30 anual. Prețul unui exemplar lei 5**

Taxele poștale plătite în numerar conform aprobării D.G.P.T. nr. 10.1095, 1967

I.P.I. c. 1325

# I. P. R. S.
# Băneasa

Str. Erou Iancu Nicolae nr. 32,

BUCUREŞTI II

Telefon 33.38.30

Telex 011.203

Serv. Desfacere 33.53.17

*Întreprinderea de piese radio şi semiconductori Băneasa*

REZISTOARE
- cu peliculă de carbon
- bobinate

TERMISTOARE
- ceramice

CONDENSATOARE
- polistiren (tip styroflex)
- poliester metalizat
- hîrtie metalizată
- hîrtie echipament auto
- hîrtie antiparazitare
- hîrtie pentru telefonie

CONDENSATOARE ELECTROLITICE
- normale
- miniatură
- nepolarizate

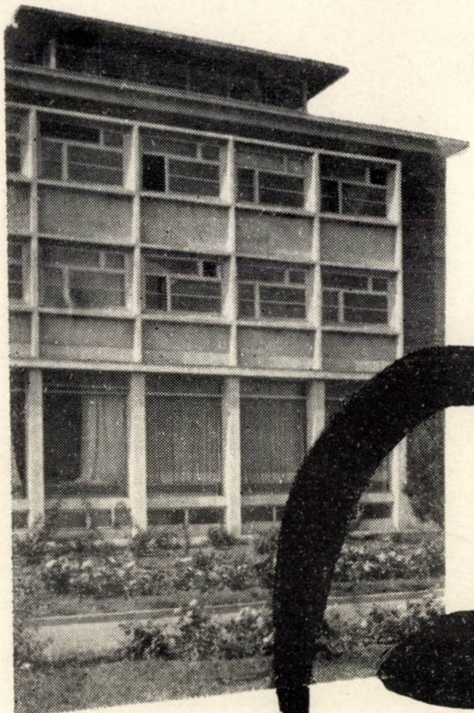
CONDENSATOARE CERAMICE
- disc
- tubulare
- plachetă
- ajustabile

CABLAJE IMPRIMATE

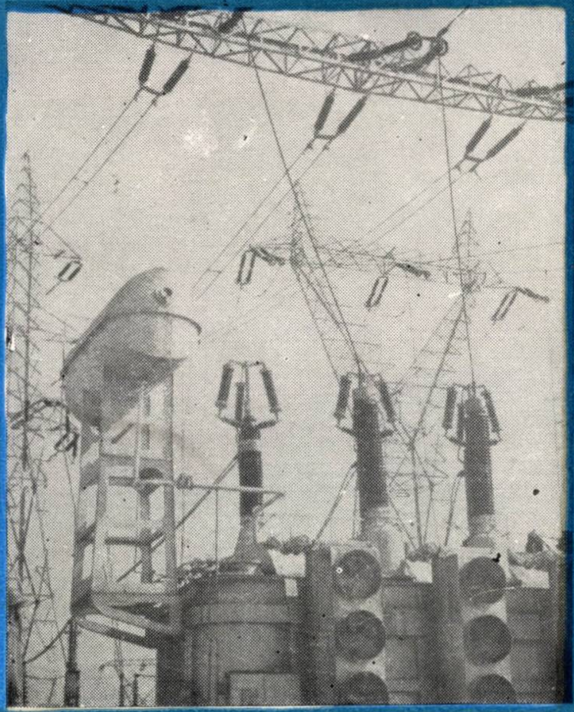
TRANZISTOARE
- de joasă frecvenţă
- de inaltă frecvenţă şi comutaţie
- de putere

DIODE
- de semnal şi comutaţie
- redresoare
- redresoare pentru curenţi mari
- stabilizatoare de tensiune
- de putere cu siliciu

CIRCUITE INTEGRATE

# I.R.E. CONSTANȚA



*IRE CONSTANȚA*

*transportă și distribuie :*

energie electrică prin rețele de înaltă și joasă tensiune, asigurînd buna deservire a consumatorilor din sectorul industrial, agricol și casnic.

*proiectează și execută :*

— rețele de joasă tensiune
— stații și posturi de transformare
— instalații de iluminat exterior
— instalații de electrificare în mediu rural
— instalații interioare
— branșamente

INTREPRINDEREA DE REȚELE
ELECTRICE CONSTANȚA

Str. Anton Nițescu nr. 77

**EXECUTĂ PRIN UNITĂŢILE SALE DE CONSTRUCŢII :**

Staţii electrice pînă la 400 kV şi posturi de transformare de orice mărime şi pentru orice raport de transformare

Linii electrice aeriene de transport şi distribuţie pentru tensiuni pînă la 400 kV

Linii electrice de distribuţie în cablu, de înaltă, medie şi joastă tensiune

Electrificări rurale

Instalaţii de iluminat public

# TEM

**PRODUCE PRIN UNITĂŢILE SALE INDUSTRIALE :**

**Stîlpi metalici pentru linii electrice aeriene de înaltă și foarte înaltă tensiune, în construcție sudată sau bulonată zincată ;**

**Stîlpi de beton armat centrifugat sau vibrat pentru linii electrice aeriene de înaltă, medie și joasă tensiune ;**

**Panouri de comandă, măsură, protecție și semnalizare pentru centrale și stații electrice ;**

**Celule prefabricate de tip deschis pînă la 20 kV și 2500 A ;**

**Posturi de transformare urbane și rurale complet prefabricate pînă la 20 kV și 630 kVA ;**

**Diverse prefabricate pentru centrale electrice, stații, posturi de transformare și linii electrice de transport și distribuție.**

TRUSTUL ELECTROMONTAJ — BUCUREȘTI

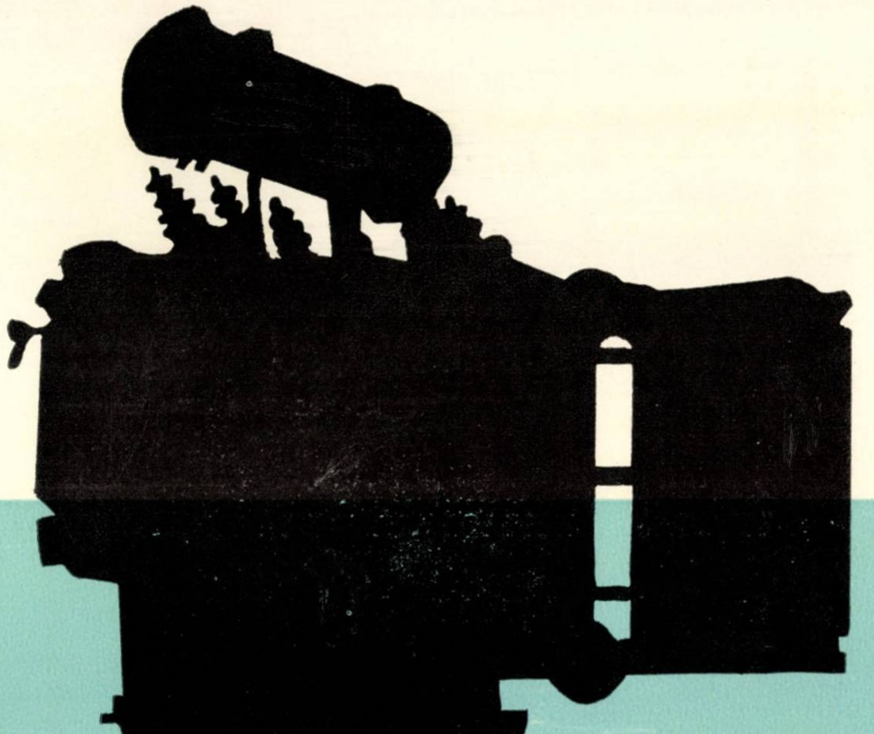
**BUCUREŞTI, CALEA MOŞILOR 158,**

**TELEFON 16.63.30**

# i.e.m. cîmpina

Intreprinderea Electromontaj Cîmpina îşi desfăşoară activitatea în 14 judeţe din ţară şi execută:

- staţii electrice pînă la 400 kV şi posturi de transformare de orice mărime şi raport de transformare;
- linii electrice aeriene de transport şi distribuţie pentru tensiuni pînă la 400 kV;
- linii electrice de distribuţie în cablu de înaltă, medie şi joasă tensiune;
- electrificări rurale;
- instalaţii de iluminatul public.



CIMPINA,str.Galaţi nr.12,jud.Prahova
telefon :142o-telex:o19612

# ICMP

ÎNTREPRINDEREA DE CONSTRUCŢII METALICE ŞI PREFABRICATE
BUCUREŞTI, Str. Acţiunii nr. 2, sector 5
telefon : 23 87 20

E X E C U T Ă :

- Celule metalice prefabricate de interior şi exterior 10 şi 20 kV pentru staţii de transformare;

- Celule metalice prefabricate de interior 10 şi 20 kV pentru posturi de transformare;

- Posturi de transformare metalice prefabricate de exterior de 10 şi 20 kV;

- Elemente de distribuţie şi conexiuni pentru posturi de transformare şi staţii electrice de transformare;

- Panouri de comandă, protecţie şi servicii proprii din staţiile electrice de transformare pînă la 400 kV;

- Stîlpi din beton armat centrifugat şi vibrat pentru linii electrice şi staţii electrice de transformare pînă la 220 kV;

- Cleme şi armături de racord, suspensie şi tracţiune pentru linii electrice şi staţii aeriene pînă la 400 kV şi linii electrice în cablu pînă la 20 kV;

- Elemente pentru legături electrice între grupuri generatoare şi transformatoare (ecrane cilindrice monofazate, ecrane trifazate, cutii de borne) de 5 000 A şi 10 000 A cu tensiuni pînă la 20 kV.

celpi

Centrala electrică de termoficare - BRAZI

● *PRIN CENTRALELE SALE ELECTRICE, IEC PLOIEȘTI FURNIZEAZĂ ENERGIE ELECTRICĂ SISTEMULUI ENERGETIC NAȚIONAL.*

● *PRIN CENTRALA ELECTRICĂ DE TERMOFICARE BRAZI SE LIVREAZĂ CĂLDURĂ CONSUMATORILOR DE PE PLATFORMA INDUSTRIALĂ BRAZI, SERELOR ȘI ANSAMBLELOR DE LOCUINȚE DIN MUNICIPIUL PLOIEȘTI*

● *CENTRALA TERMOELECTRICĂ DOICEȘTI LIVREAZĂ ȘI CENUȘĂ PENTRU FABRICAREA BETONULUI CELULAR AUTOCLAVIZAT ȘI A CIMENTURILOR SPECIALE.*

**ÎNTREPRINDEREA ELECTROCENTRALE PLOIEȘTI**

# i.r.e galați

Str. 23 August nr.9 A

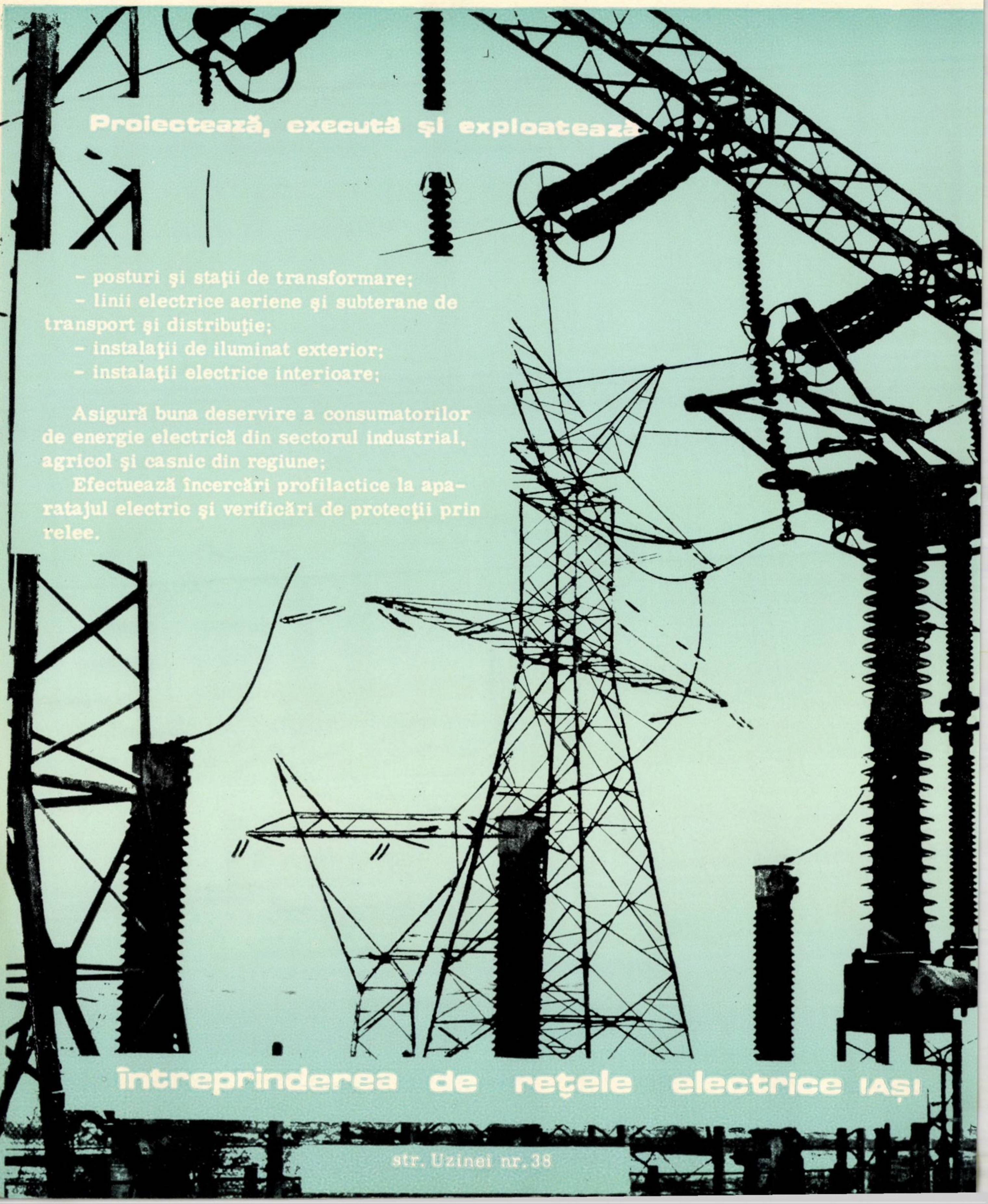
Adresați-vă cu încredere unității noastre în soluționarea tuturor problemelor de: transport, distribuție, transformare și utilizare a energiei electrice.

Transportă și distribuie în cele mai bune condiții tehnice, energie electrică pentru necesitățile industriei, transporturilor, agriculturii și consumatorilor casnici.

Execută verificări pentru echipament electroenergetic, aparataj electric și instalații de protecție prin relee și automatizări.

Proiectează și construiește rețele de distribuție, posturi de transformare, instalații electrice de iluminat public, instalații electrice interioare.

# IRE * IAȘI



Proiectează, execută şi exploatează
- posturi şi staţii de transformare;
- linii electrice aeriene şi subterane de transport şi distribuţie;
- instalaţii de iluminat exterior;
- instalaţii electrice interioare;
Asigură buna deservire a consumatorilor de energie electrică din sectorul industrial, agricol şi casnic din regiune;
Efectuează încercări profilactice la aparatajul electric şi verificări de protecţii prin relee.
întreprinderea de reţele electrice IAŞI
str. Uzinei nr. 38

INTREPRINDEREA

# Energomontaj

EXECUTĂ LUCRĂRI DE MONTAJ
PENTRU CENTRALE ELECTRICE

Cazane de abur cu parametri ridicați, 500 – 640 t abur/h
Turbine cu abur, de la 5 MW la 315 MW
Turbine cu gaze
Turbine hidraulice, de la 5,5 MW la 170 MW

Compensatoare sincrone
Instalații electrice de joasă, înaltă și foarte înaltă tensiune
Instalații de măsură, control și automatizare

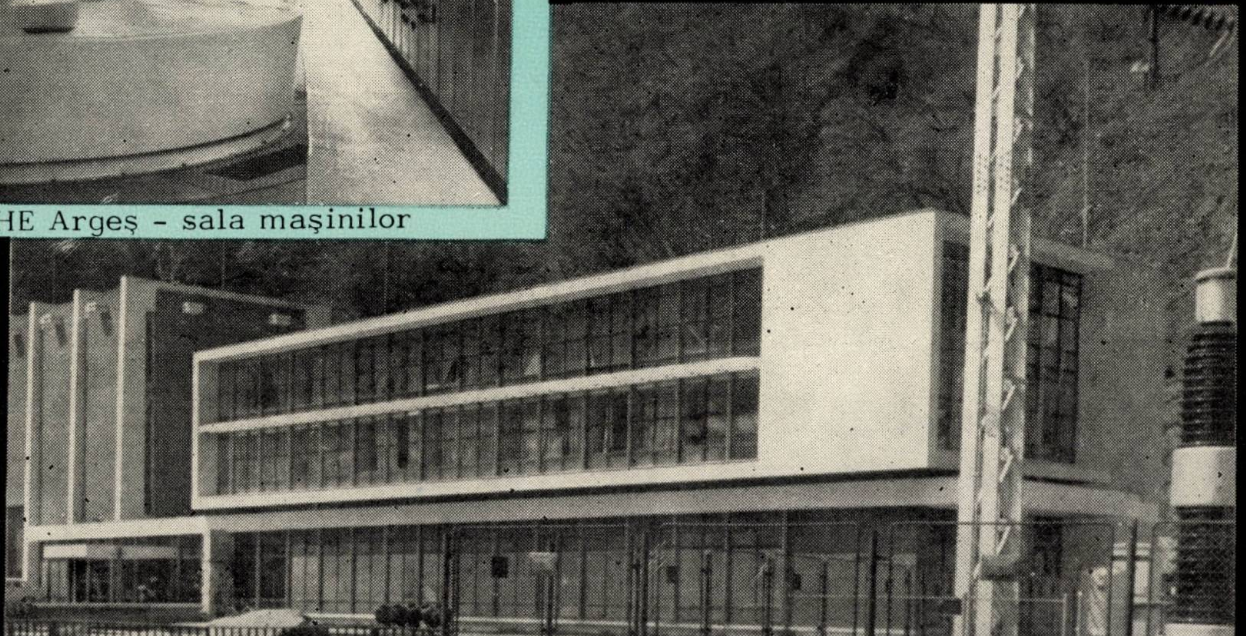
Întreprinderea Energomontaj
București, Cal. Dorobanților nr. 105

# I.C.H. RÎMNICU VÎLCEA

Centralele hidroelectrice ale ICH Rîmnicu Vîlcea furnizează energie electrică sistemului energetic național, fiind interconectate la acesta. Energia electrică furnizată asigură alimentarea cu energie electrică a consumatorilor industriali, agricoli și casnici din zonă.

Principala centrală — CHE Argeș — amenajată în subteran, are o putere instalată de 220 MW, în patru grupuri de 55 MW fiecare. Este automatizată și telemecanizată, asigurînd o funcționare continuă și energie electrică de calitate.

CHE Argeș - sala mașinilor



RÎMNICU VÎLCEA - Str.General Magheru nr.19

ÎNTREPRINDEREA

# energoconstrucţia

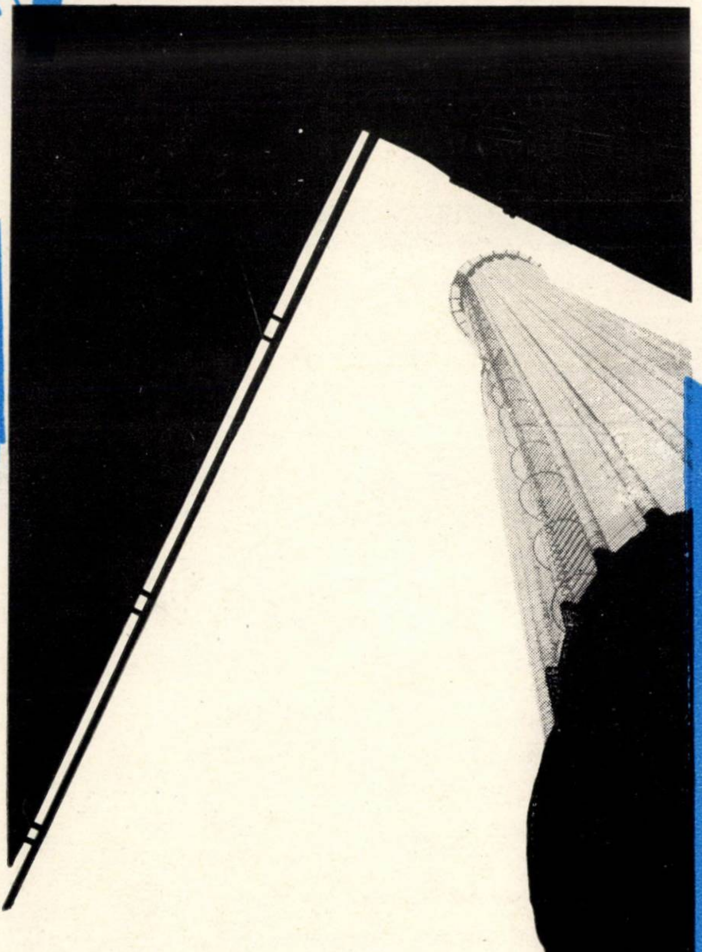
BUCUREŞTI

EXECUTĂ LUCRĂRI DE CONSTRUCŢII ENERGETICE :

- Centrale termoelectrice
- Termoficări urbane şi industriale
- Construcţii hidrotehnice aferente centralelor termoelectrice
- Amenajări constructive pentru staţii de transformare de 110, 220, 400 kV
- Coşuri de fum cu înălţimi pînă la 250 m
- Turnuri de răcire cu tiraj natural şi tiraj forţat

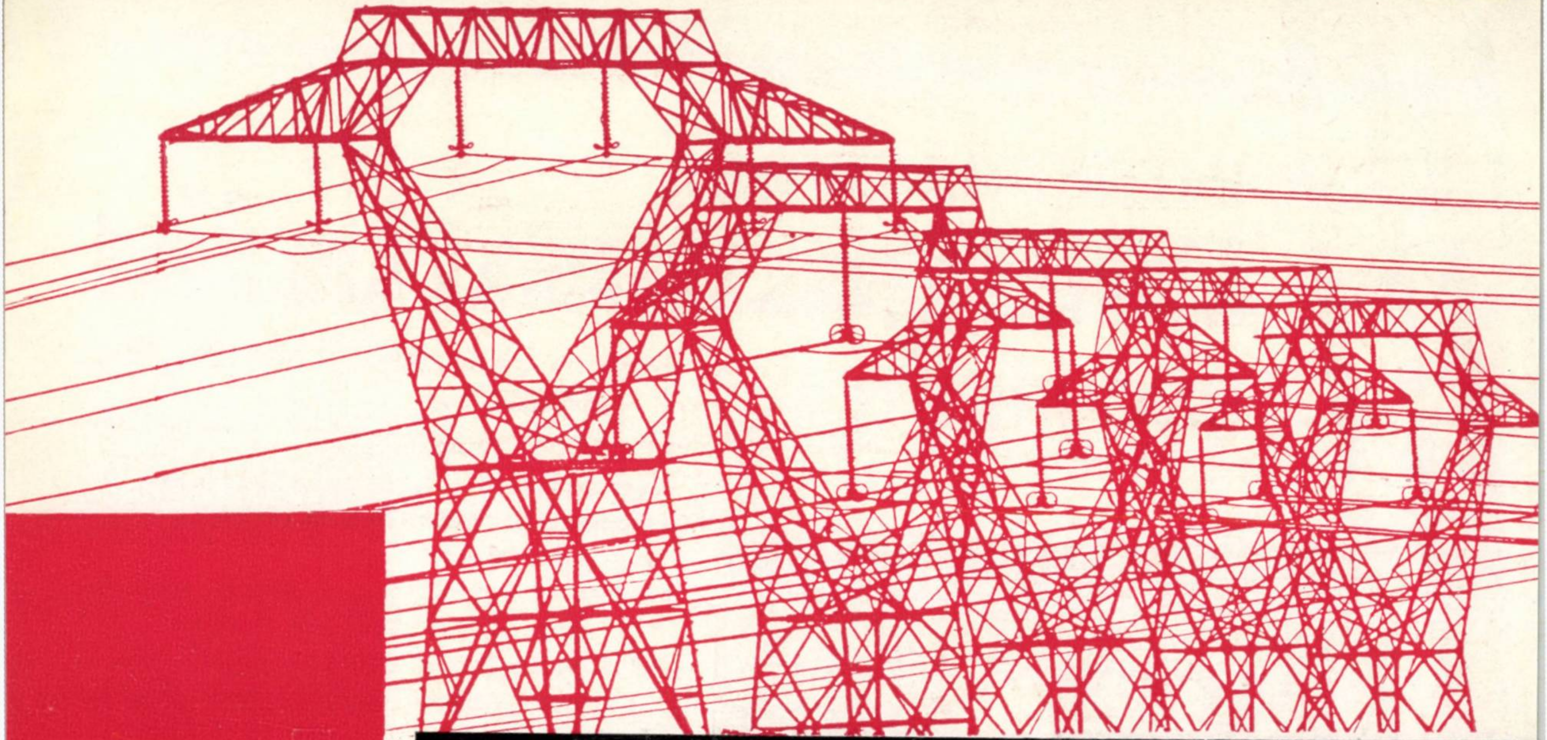
LA EXECUTAREA LUCRĂRILOR SE FOLOSESC CELE MAI MODERNE METODE ŞI PROCEDEE TEHNOLOGICE :

- Glisări de structuri spaţiale şi plane din beton armat
- Glisări de coşuri de fum
- Montare de prefabricate grele din beton armat
- Structuri metalice



ÎNTREPRINDEREA ENERGOCONSTRUCŢIA – BUCUREŞTI

Cal. Dorobanţilor 105




# I R E

- TRANSPORTĂ şi DISTRIBUIE energie electrică, prin reţele de înaltă, medie şi joasă tensiune, tuturor consumatorilor din zonă.

- PROIECTEAZĂ :
  . posturi şi staţii de transformare;
  . linii electrice aeriene şi subterane de transport şi distribuţie;
  instalaţii electrice de iluminat exterior.

- CONSTRUIEŞTE :
  . posturi de transformare;
  . linii electrice aeriene şi subterane de joasă tensiune;
  . branşamente şi instalaţii electrice de linii şi forţă.

# Bucureşti

Şos.Ştefan cel Mare
nr.1 A, sectorul 2,
telefon: 11 50 20 .

R M E contribuie la ri-
carea nivelului de ex -
oatare şi la introduce-
a automatizărilor în
stalaţiile de cazane
n centralele electrice.

cureşti,sect.4,
r.Releului nr.2

# ÎNTREPRINDEREA
# ELECTROCENTRALE
# BUCUREŞTI

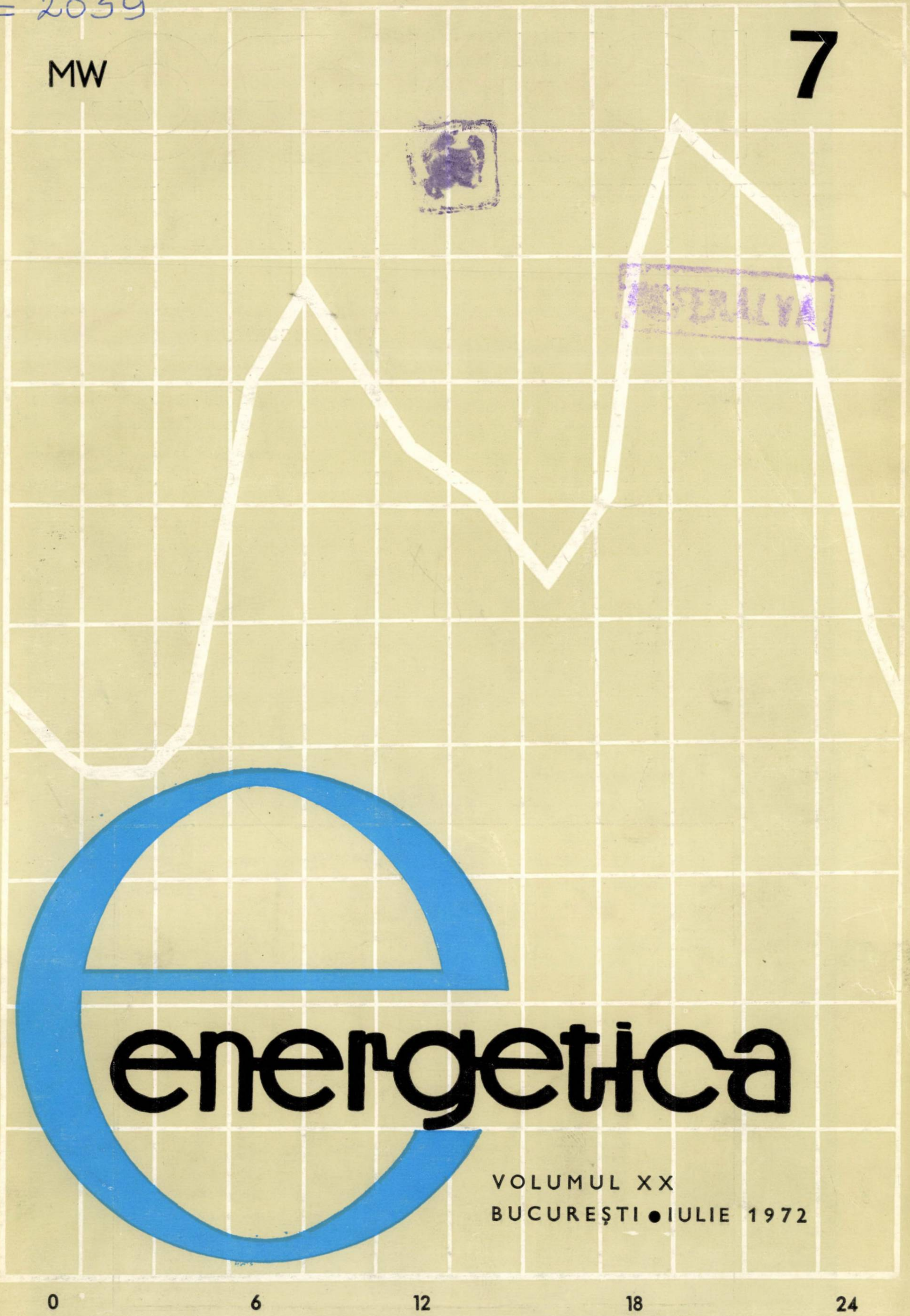
– Prin instalaţiile sale de producere combinată sau separată a energiei electrice şi termice, asigură furnizarea căldurii la calitatea cerută şi cu un înalt grad de siguranţă, noilor cartiere de locuinţe şi noilor platforme industriale, însumînd un consum total de peste 2.400 Gcal/h.

– Furnizează energie electrică la parametrii nominali, sistemului energetic naţional şi consumatorilor din capitală, cu capacităţi totalizînd peste 600 MW, prin staţii electrice de 5 kV, 10 kV, 30 kV, 110 kV, 220 kV şi 400 kV

1973 JAN 1

**ÎNTREPRINDEREA ELECTROCENTRALE BUCUREŞTI Spl. Independenţei 229**

E 2039




7

# energetica

VOLUMUL XX
BUCUREȘTI • IULIE 1972

# ICENERG

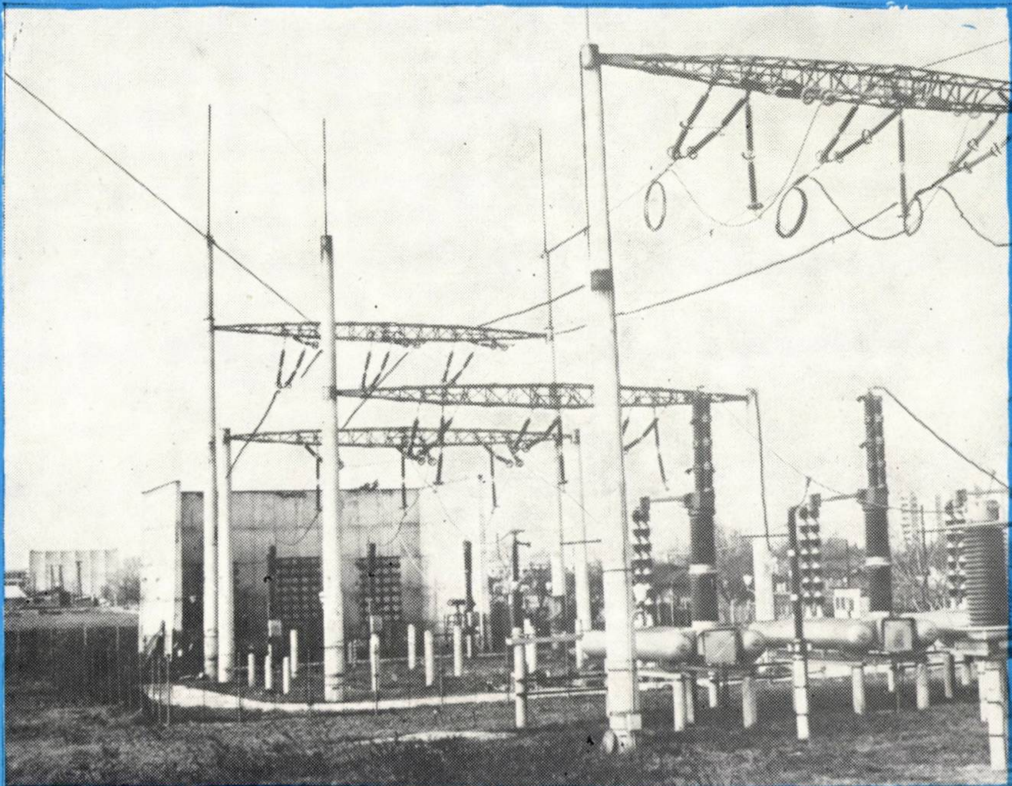
**INSTITUTUL DE CERCETĂRI ELECTROENERGETICE ȘI PENTRU TERMOFICARE**

*București, sector 4 Str. Doamnei nr. 14—16 Telefon : 16 65 60—15 08 90*

**EXECUTĂ CERCETĂRI ŞTIINŢIFICE PENTRU ASIGURAREA :**
- dezvoltării sistemului energetic ;
- exploatării sigure şi economice a instalaţiilor din sistemele energetice ;
- continuităţii şi siguranţei în alimentarea consumatorilor ;
- ridicării nivelului tehnic în proiectarea, construcţia şi exploatarea instalaţiilor de producere, transport şi utilizare a energiei electrice şi căldurii produse prin termoficare.

**ACORDĂ ASISTENŢĂ TEHNICĂ PRIN STUDII ŞI CERCETĂRI ŞTIINŢIFICE ÎN DOMENIILE**
- sisteme şi reţele electrice ;
- producerea şi utilizarea energiei electrice ;
- tehnica tensiunilor înalte ;
- automatizare ;
- centrale termoelectrice şi de termoficare ;
- hidrotehnică industrială în centralele termoelectrice ;
- chimia centralelor termoelectrice ;
- cercetări economice şi de organizare ştiinţifică a producţiei.

**STAŢIA DE MARE PUTERE A ICENERG VA STA LA DISPOZIŢIE PENTRU :**
- încercări de verificare a capacităţii de comutaţie a întrerupătoarelor ;
- încercări de verificare a rezistenţei la scurtcircuit bruse a transformatoarelor de putere ;
- cercetarea echipamentului electric de înaltă tensiune în condiţiile sistemului energetic.



2039

# ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 20 Nr 7. IULIE

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁR ÉS DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT 1883

## Cuprinsul

| | | Pag. |
|---|---|---|
| *Grăniceanu, M.* și *Iancovici, P.* | **Aspecte economice ale compensării puterii reactive în sistemul energetic național (Partea a II-a). Tarifarea energiei reactive** | 277–283 |
| *Ivas, D.* | **Considerații asupra relațiilor folosite pentru determinarea indicatorului economic al continuității în alimentarea cu energie electrică** | 284–287 |
| *Țenescu, M., Popa, C.* și *Gheorghiu, M.* | **Accidente maxime în centralele nuclearoelectrice. Sisteme de reducere a efectelor termodinamice și metode de calcul al acestora** | 287–294 |
| *Mark, D.* | **Metodă de introducere statistică a frecvenței supratensiunilor de comutație în coordonarea izolației stațiilor electrice** | 294–301 |
| *Cruceru, C.* | **Tendințe actuale în construcția cablurilor de energie și a elementelor de îmbinare destinate rețelelor electrice în cablu** | 302–308 |
| *Grigoriu, G.* și *Slănciulescu, G.* | **Prelucrarea automată a informațiilor privind incidentele, avariile și deteriorările de echipamente din sistemul electroenergetic național** | 309–315 |
| *Drăgan, D.* | **Noțiuni fundamentale referitoare la metodele de identificare experimentală a unui proces. Posibilități de aplicare a acestor metode în energetică** | 315–323 |
| *Mavrodin-Tărăbic, M., Onaca, I.* și *Solacolu, I.* | **Pilele cu combustibil — surse moderne de energie electrică** | 323–326 |

CRONICĂ

RECENZII

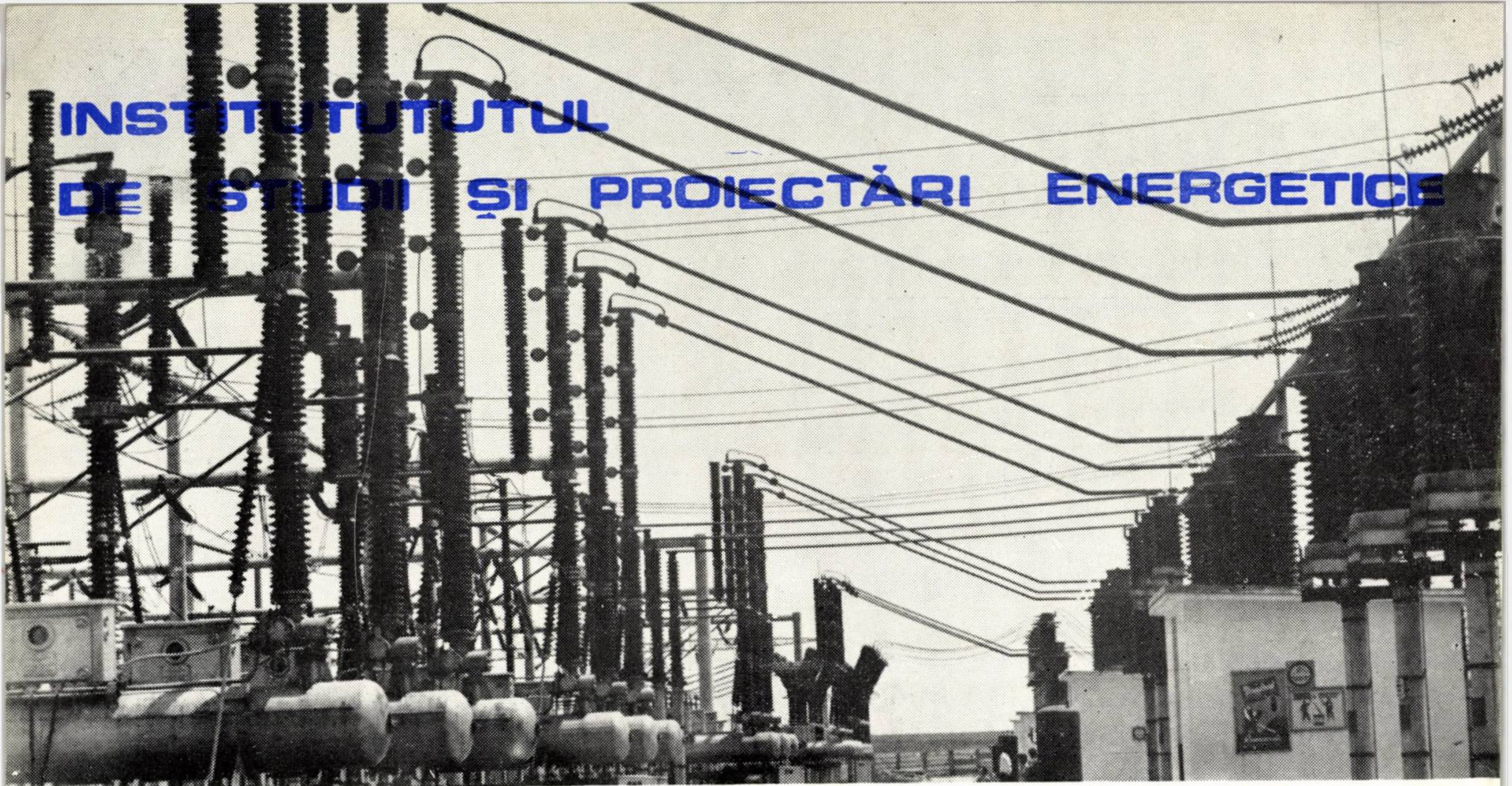
INFORMAȚII

COMITETUL DE REDACȚIE

Prof. univ. emerit ing. I. D. STĂNCESCU, redactor responsabil, ing. Gr. IORGULESCU, redactor responsabil adjunct, conf. ing. I. A. BADEA, ing. ST. BERENGHI, conf. ing. A. COGĂLNICEANU, dr. ing. P. DIMO, membru corespondent al Academiei Republicii Socialiste România, laureat al Premiului de Stat, ing. H. FURTUNESCU, ing. P. IFTIME, ing. L. LUCA, ing. B. MARCU, dr. ing. A. MĂCRIȘ, conf. ing. C. MIHĂILEANU, prof. dr. ing. V. I. NIȚU, ing. A. SPÎNU, ing. R. ZANE

OFICIUL DE DOCUMENTARE ENERGETICĂ

# INSTITUTUTUTUL DE STUDII ȘI PROIECTĂRI ENERGETICE



# ISPE

INSTITUTUL DE STUDII ȘI PROIECTĂRI ENERGETICE (L'Institut d'Études et de Projets Énergétiques), organisme de spécialité du Ministère de l'Énergie Électrique, exécute des études et des projets nécessaires à la réalisation des plans d'électrification, à l'extension et à la modernisation des installations énergétiques existantes, au fonctionnement en conditions économiques et de sécurité des réseaux électriques

- établit des projets techniques et d'exécution pour centrales thermiques et centrales à production combinée chaleur/force, postes d'interconnexions et de transformateurs, lignes électriques de transport et de distribution
- accorde assistance technique pour la réalisation des projets au paramètres projetés
- exécute des études d'électrification, conformément aux données de terrain: topographiques, géologiques, géotechniques et des études techniques et économiques pour la fondamentation des investissements énergétiques de tout genre
- établit les plans d'électrification courante et de perspective pour des pays, régions ou villes
- établit les projets des installations et des réseaux de chauffage pour utilisations urbaines et industrielles
- élabore des études concernant l'établissement des régimes de fonctionnement et de sécurité des réseaux électriques
- élabore des études méthodologiques et algorithmes de calcul et effectue, par ses installations modernes, tous les calculs nécessaires pour la résolution de différents problèmes d'études et de projets du domaine des réseaux électriques ou des éléments de ceux-ci

*Collabore avec des entreprises et organisations étrangères pour des travaux de spécialité et accorde sur demande tout service de spécialité dans le domaine énergétique.*

INSTITUTUL DE STUDII ȘI PROIECTĂRI ENERGETICE (The Institute for Power Studies and Designs), the specialised body of the Ministry of Electric Energy, carries out studies and designs required for the achievement of the electrification plans, the extension and modernization of the existing power equipment, and for the electric networks operation in economic and safety conditions

— draws up technical and construction designs for thermal power plants and combined heat and power plants, substations and transformer posts, transmission and distribution lines
— lends technical assistance for achieving the designs at the designed parameters
— carries out electrification studies based on field data such as surveying, geological and geotechnical data, and technical and economical studies in order to justify the power investments of any kind
— draws up current and prospective electrification plans for countries, regions and towns
— designs equipment and heat networks for urban and industrial purposes
— elaborates studies for establishing the power regime and safety operation
— elaborates methodological studies and computing algorithms and carries out on its modern equipment the computations required for solving different studies and design problems in the field of electric networks and their elements

*Cooperates with foreign firms and organizations for specialised works and gives, on demand, all kind of engineering assistance in the power industry field.*

*BUCUREȘTI.*
*Bd. Lacul Tei nr. 1,*
*Tel. 12.19.70, 12.71.41*
*Telex. 011.177*

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁR ÉS DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT 1983

# СОДЕРЖАНИЕ


ДК 621.316.761.2.003
*Грэничану, М.* и *Янкович, П.*: **Экономические аспекты компенсации реактивной мощности (II часть)**
Синтетически представлена система, принятая в СРР для стимулирования компенсации реактивной мощности, предлогая, на основе сравнения с другими странами, введение специального тарифа для реактивной энергии.
Energetica 20 (1972), № 7, стр. 277–283

ДК 658.26 :621.311.1.003
*Ивас, Д.*: **Соображения об отношениях, принятых при определении экономического показателя непрерывности снабжения электрической энергией**
Статья анализирует способ учета ущерб в случае прерывания снавбжения энергией промышленных потребителей. Приведено различное выражение ущерб по уровням обеспеченной мощноти и категории потребителя.
Energetica 20 (1972), № 7, стр. 284–287

ДК 614.8 :621.311.25 :621.039
*Ценеску, М.*, *Попа, К.* и *Георгиу, М.*: **Максимальные аварии АЭС. Системы понижения теплодинамических эффектов и методы их расчета**
Представляется расчетный метод для анализа разглудки первого контура реактора PWR при максимально беройтной аварии с установлением эволюции теплодинамических параметров в защитной оболочке. Приводятся примеры и составляются диаграммы.
Energetica 20 (1972), № 7, стр. 287–294

ДК 519.2 :621.3.015.38
*Марк, Д.*: **Метод статистического внесения частоты сверхнапряжения переключения в координацию изоляции электрических станций**
Представляется расчетный метод, приводя данные из литературы и элементы из энергосистемы, позволяющие рассчитать вероятную частоту сверхнапряжений переключения в целях координации изоляции электрических станций.
Energetica 20 (1972), № 7, стр. 294–301

ДК 621.315.21 :621.315.687
*Кручеру, К.*: **Актуальные тенденции в строительстве энергетических кабелей и стыковых принадлежностей для кабельных электрических сетей**
Синтетически представлены актуальные тенденции в строительстве энергетических кабелей и стыковых принадлежностей для кабельных электрических сетей. Указываются также результаты достигнутые в СРР относительно энергетических кабелей и их области применения.
Energetica 20 (1972), № 7, стр. 302–308

ДК 681.3 :621.31.004.64
*Григориу, Г.* и *Стэнчулеску, Г.*: **Автоматическая обработка данных о повреждениях и аварийных случаях оборудования в национальной электроэнергетической системе**
Представлены результаты и логические схемы разработки, ведения и обработки информаций об аварийных случаях электроэнергетической системы СРР.
Energetica 20 (1972), № 7, стр. 309–315

ДК 62–52 :621.31.001.5
*Дрэган, Д.*: **Понятие об идентификации, принятое в энергетике**
Работа рассматривает экспериментальные идентификации в автоматизированных установках, с применением в энергетике, приводя систематизацию активных и пассивных методов.
Energetica 20 (1972), № 7, стр. 315–323

ДК 620.9 :621.311.4
*Мавродин–Тэрэбик, М.*, *Онака, И.* и *Солаколу, И*: **Атомные элементы–современные источники электрической энерчии**
Прецставлены основные типы атомных елементов и приведены функциональные параметры, результаты и кпц трансформации энергии для разных типов атомных элементов.
Energetica 20 (1972), № 7, стр. 323-326


# INHALTSVERZEICHNIS


DK 621.316.761.2.003
*Grăniceanu, M.* und *Iancovici, P.*: **Wirtschaftliche Aspekte der Blindleitungskompensation** (2 Teil)
Es werden die in Rumänien für Förderung der Blindleistungskompensation angewendeten Massnahmen erörtert. An Hand eines Vergleichs mit anderen Ländern wird die Einführung eines Sondertarifs für Blindstrom vorgeschlagen.
Energetica 20 (1972), H. 7, S. 277–283

DK 658.26 :621.311.1.003
*Ivas, D.*: **Betrachtungen über die Kontinuität der Stromversorgung als wirtschaftliches Kennzeichen und die für dessen Ermittlung angewandten Beziehungen**
Der Aufsatz untersucht, wie Schäden im Falle von Stromversorgungsunterbrechungen bei Industrieteilnehmern in Betracht gezogen werden. Es wird ein Versuch unternommen, Schäden unterschiedlich nach Masstab der Höhe der gesicherten Leistung und der Verbraucherkategorie auszudrücken.
Energetica 20 (1972), H. 7, S. 284–287

DK 614.8: 621.311.25: 621.039
*Ţenescu, M.*, *Popa, C.* und *Gheorghiu, M.*: **Grösste anzunehmende Unfölle in Kernkraftwerken. Verminderungsmethoden wärmedynamischer Effekte und ihre Berechnung**
Es wird eine Berechnungsmethode zur Untersuchung der Entleerung des Primär-Kreislaufes eines DWR im Falle eines GAU dargelegt und der Verlauf der wärmedynamischen Parameter in der Schutzhülle festgelegt. Weiters werden einige Beispiele und Diagramme aufgestellt.
Energetica 20 (1972), H. 7, S. 287–294

DK 519.2 :621.3.015.38
*Mark, D.*: **Verfahren für statistische Berücksichtigung des Auftretens von Schaltüberspannungen bei Koordinierung der Isolation in Schaltwarten**
Es wird ein mit Daten aus der Fachliteratur und Beispielen aus dem Verbundnetz belegtes Berechnungsverfahren dargestellt, an Hand dessen das wahrscheinliche Auftreten von Schaltüberspannungen zwecks Koordinierung der Isolation in Schaltwarten berechnet werden kann.
Energetica 20 (1972), H. 7, S. 294–301

DK 621.315.21 :621.315.687
*Cruceru, C.*: **Gegenwärtige Bestrebungen bei Herstellung von Starkstromkablen und Verbindungsstücken für Kabelnetze**
Es werden gegenwärtige Tendenzen bei Herstellung von Starkstromkabeln und von Verbindungsstücken für Kabelnetze erörtert. Gleichzeitig werden die in Rumänien erzielten Leistungen auf dem Gebiet der Starkstromkabel dargestellt.
Energetica 20 (1972), H.7, S. 302–308

DK 681.3 :621.31.004.64
*Grigoriu, G.* und *Stănciulescu, G*: **Automatische Bearbeitung der Vorfälle, Betriebsstörungen und Beschädigung von Anlagen innerhalb des Landesverbundnetzes betreffenden Daten**
Die logischen Schaltbilder und Leistungen von Programmen für laufende Ermittlung und Bearbeitung von Daten bezüglich Vorfälle innerhalb des Landesverbundnetzes Rumäniens werden beschrieben.
Energetica 20 (1972), H.7, S. 309–315

DK 62–52 :621.31.001.5
*Drăgan, D.*: **Das Konzept der Identifizierung in der Energiewirtschaft**
Der Aufsatz bezieht sich auf versuchsweise Identifizierungen in automatisierten Anlagen mit Anwendungen in der Energiewirtschaft. Es wird eine Systematisierung der aktiven und passiven Verfahren vorgenommen.
Energetica 20 (1972), H. 7, S. 315–~~313~~ 323

DK 620.9: 621,311.4
*Mavrodin-Tărăbic, M.*, *Onaca, I.* und *Solacolu, I.*: **Brennstoffelemente als moderne Quellen für Elektroenergie**
Die wichtigsten Bautypen der Brennstoffelemente werden mit ihren Betriebsparametern, Leistungen sowie den Wirkungsgraden der Energieumwandlung aufgezählt.
Energetica 20 (1972), H. 7, S. 323–326

## SOMMAIRE


CD 621.316. 761. 2.003

*Grăniceanu, M.* et *Iancovici, P.* : **Aspects économiques de la compensation de la puissance réactive** (II-ème partie)

Présentation synthétique du système utilisé en Roumanie pour stimuler la compensation de puissance réactive. On propose, par comparaison avec d'autres pays, l'introduction d'un tarif spécial pour l'énergie réactive.

Energetica 20 (1972). no.7, p. 277–283

CD 658.26 :621.311.1.003

*Ivas, D.* : **Considérations sur les relations employées pour établir l'indicateur économique de la continuité dans l'alimentation avec de l'énergie électrique**

On étudie la manière de considérer les dommages en cas d'interruption de l'alimentation électrique des consommateurs industriels. On essaie d'exprimer ces dommages d'une manière différenciée, d'après les niveaux de puissance assurés et la catégorie du consommateur.

Energetica 20 (1972), no. 7, p. 284–287

CD 614.8: 621.311.25: 621.039

*Ţenescu, M., Popa, C.* et *Gheorghiu, M.* : **Accidents maximum croyables dans les centrales nucléaires. Quelques méthodes destinées à réduire les effets thermodynamiques et la manière de les calculer**

On y présente une méthode destinée à analyser la manière de décharger le circuit primaire d'un réacteur du type PWR en cas d'un accident maximum croyable tout en déterminant l'evolution des paramètres thermodynamiques dans la gaîne de protection. On y donne aussi quelques exemples et on détermine les diagrammes.

Energetica 20 (1972), no. 7, p. 287–294

CD 519.2 :621.3.015.38

*Mark, D.* : **Méthode pour l'introduction statistique de la fréquence des surtensions de commutations dans la coordination de l'isolement des postes électriques**

Il s'agit d'une méthode de calcul accompagnée par des données prises dans la littérature et des exemples à l'aide d'éléments du réseau national qui permettent de calculer la fréquence probable des surtensions de commutation afin de coordonner l'isolement des postes électriques.

Energetica 20 (1972), no. 7, p. 294–301

CD 621.315.21 :621.315.687

*Cruceru, C.* : **Les tendances actuelles dans la construction des câbles électriques et des accessoires de jonction destinés aux réseaux électriques en câble**

Présentation synthétique des tendances actuelles dans la construction des câbles électriques et des accessoires de jonction destinés aux réseaux en câble. On indique aussi les réalisations roumaines concernant les câbles électriques et leurs domaines d'utilisation.

Energetica 20 (1972), no. 7, p. 302–303

CD 681.3 :621.31.004.64

*Grigoriu, G.* et *Stănciulescu, G.* : **Traitement automatique des données concernant les incidents, les avaries et les détériorations d'équipements dans le réseau national**

Les auteurs présentent les performances et les schémas logiques des programmes servant à tenir à jour et traiter les informations concernant les incidents dans le réseau national de la Roumanie.

Energetica 20 (1972), no. 7, p. 309–315

CD 62–65 :621.31.001.5

*Drăgan, D.* : **Le concept d'identification appliquée dans l'énergétique**

L'ouvrage concerne les identifications expérimentales dans les installations automatisées, avec des applications dans l'énergétique. L'auteur fait une systématisation des méthodes actives et passives.

Energetica 20 (1972), no. 7, p. 315–323

CD 620.9: 621.311.4

*Mavrodin-Tărăbic, M., Onaca, I.* et *Solacolu, I.* : **Les piles à combustions–soures modernes d'énergie électrique**

Les auteurs présentent les types principaux de piles à combustion et les paramètres de fonctionnement, les performances et les rendements de transformation de l'énergie.

Energetica 20 (1972), no. 7, p. 323–326


## CONTENTS


DC 621.316.761.2.003

*Grăniceanu, M.* and *Iancovici, P.* : **Some economical aspects of reactive power compensation** (Part II).

Here is a synthetic presentation of the system used in Romania to stimulate the compensation of reactive power. It is proposed, after a comparison was made with other countries, to adopt a special tariff for reactive energy.

Energetica 20 (1972), nr. 7, p. 277–283

DC 658.26 :621.311.1.003

*Ivas, D.* : **Some considerations on relations used to establish the economic indicator for the steady supply of electric power**

The author examines the way to consider damages in case of interruptions of the power supply to industrial consumers. He tries to express damages in different ways according to the power assured and the category of the consumer.

Energetica 20 (1972), nr. 7, p. 284–287

DC 614.8: 621.311.25: 621.039

*Ţenescu, M., Popa, C. and Gheorghiu, M.* : **Maximum credible accidents in nuclear power plants. Some procedures for the reduction of thermodynamic effects and their computation**

A method is being presented for the analysis of the unloading of the primary circuit of a PWR in case of - maximum credible accident, at the same time determinina the evolution of thermo-dynamic parameters within thg conteinment. Some examples are given and diagrams are also determined.

Energetica 20 (1972) nr. 7, p. 287–294

DC 519.2 :621.3.015.38

*Mark, D.* : **A method of statistical introduction for the frequency of switching over-voltages in the co-ordination of switchyard insulation**

The author gives us a method of calculation with examples from the literature and elements in the power system allowing to calculate the probable frequency of over-voltages due to switching with the purpose to co-ordinate the insulation of switchyards.

Energetica 20 (1972), nr. 7, p. 294–301

DC 621.315.21 :621.316.687

*Cruceru, C.* : **Present trends in the manufacturing of power cables and fittings destined for electric cable systems**

The author presents the present trends in the manufacturing of electric power cables and fittings used for electric cable systems. He also shows some results obtained in Romania in the filed of power cables and their range of application

Energetica 20 (1972), nr. 7, p. 302–308

DC 681.3 :621.31.004.64

*Grigoriu, G.* and *Stănciulescu, G.* : **Automatic data processing regarding the incidents, damages and perturbations of the equipment used by the power system**

The performances and logical diagrams of the input, maintaining and processing of informations regarding incidents in the Romanian power system are presented by this paper.

Energetica 20 (1972), nr. 7, p. 309–315

DC 62–52 :621.31.001.5

*Drăgan, D.* : **The concept of identification applied in energetics**

This paper concerns experimental identifications in automatised installations, with applications in energetics, active and passive methods are presented in a systematic way.

Energetica 20 (1972), nr. 7, p. 315–323

DC 620.9: 621.311.4

*Mavrodin-Tărăbic, M., Onaca, I.* and *Solacolu, I.* : **Combustion piles–modern sources of electric energy**

The authors review the main types of combustion piles and specify operating parameters, performances and energy transformation efficiency for different types of combustion piles.

Energetica 20 (1972), nr. 7, p. 323–326

# Aspecte economice ale compensării puterii reactive în sistemul energetic național

## (Partea a II-a)

# Tarifarea energiei reactive

Ing. **M. Grăniceanu**
și ing. **P. Iancovici** *)

*Acest articol reprezintă continuarea celui publicat sub același titlu în nr. 11/1971 al revistei.*

*Autorii expun un punct de vedere personal asupra oportunității introducerii tarifării energiei reactive livrate.*

*Redacția revistei pune la dispoziție coloanele sale pentru o dezbatere privind căile cele mai eficiente de urmat în problema acoperirii cererilor de putere și respectiv energie reactivă.*

În prima parte a lucrării [1] s-au prezentat caracteristicile consumului și ale producției de putere reactivă în sistemul energetic național și s-a arătat că este necesară, pe lîngă compensarea puterii reactive la marii consumatori, și o compensare a rețelelor M.E.E.

Compensarea rețelelor de distribuție publică este însă legată de cheltuieli ale furnizorului de energie electrică, care este normal să fie recuperate pe seama prețului de vînzare al energiei electrice. În legătură cu acest aspect, tot în prima parte a lucrării s-a arătat influența factorului de putere asupra prețului de cost al energiei electrice și s-au stabilit valori orientative ale costului pe kvarh. Pe baza elementelor din articolul anterior și ținînd seama și de practicile din alte țări în ceea ce privește tarifarea energiei electrice în raport cu factorul de putere, în cele ce urmează se va căuta să se scoată în evidență noi căi de perfecționare a sistemului tarifar pentru energia electrică, cu referire specială la energia reactivă. În acest sens se fac propuneri pentru introducerea în țara noastră a unui tarif special de energie reactivă.

* Ing. Mihai Grăniceanu este șef de serviciu în Ministerul Energiei Electrice; Persida Iancovici este inginer la I.S.P.E.

### Reglementări pentru stimularea compensării la marii consumatori industriali din țara noastră

Încă din anul 1955, în țara noastră s-au adoptat măsuri pentru ridicarea factorului de putere la marii consumatori. Aceste măsuri constau în stabilirea prin H.C.M. a obligației pentru marii consumatori de a plăti penalizări în cazul consumului de energie electrică la factor de putere sub o valoare neutrală normată (cos φ neutral), respectiv dreptul de a primi bonificații în cazul depășirii valorii neutrale a cos φ. Valoarea penalizărilor și bonificărilor cuvenite este stabilită ca procent de majorare sau reducere ce se aplică la întreaga valoare a facturii pentru furnitură de energie electrică.

Sumele rezultate din bonificări-penalizări se regularizează per sold cu bugetul statului prin Ministerul Energiei Electrice. Dacă din 1955 pînă în prezent acest sistem a rămas neschimbat ca principiu, factorul de putere neutral și procentele de majorare-reducere s-au corectat succesiv, așa cum se arată în tabelul 1. Se re-

*Tabelul 1*

Scara de bonificări și penalizări în funcție de cos φ (în%) stabilită conform :

| HCM 188/1955 | | HCM 204/1960 | | HCM 1279/1962 | | HCM 2763/1968 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| cos φ | bonificări (−) penalizări (+) | cos φ | bonificări (−) penalizări (+) | cos φ | bonificări (−) penalizări (+) | cos φ | reduceri (−) majorări (+) U⩾110 kV | reduceri (−) majorări (+) U<110 kV |
| 1,0 | − 15 | 1,0 | − 10 | 1,0 | − 10 | 1,0 | − 5 | − 5 |
| 0,95 | − 12,5 | 0,95 | − 7,5 | 0,95 | − 5 | 0,95 | 0 | 0 |
| 0,9 | − 10 | 0,9 | − 5 | 0,9 | 0 | 0,93 | 0 | 0 |
| 0,85 | − 7,5 | 0,85 | 0 | 0,85 | + 5 | 0,90 | 0 | + 3 |
| 0,8 | − 5 | 0,8 | + 10 | 0,8 | +15 | 0,85 | + 5 | + 8 |
| 0,75 | 0 | 0,75 | + 20 | 0,75 | +25 | 0,8 | +15 | +15 |
| 0,7 | + 5 | 0,7 | + 30 | 0,7 | +40 | 0,75 | +25 | +25 |
| 0,65 | + 20 | 0,65 | + 50 | 0,65 | +60 | 0,7 | +40 | +40 |
| 0,6 | + 35 | 0,6 | + 70 | 0,6 | +80 | 0,65 | +60 | +60 |
| 0,55 | + 50 | 0,55 | + 90 | 0,55 | | 0,6 | +80 | +80 |
| 0,5 | + 65 | 0,5 | +110 | 0,5 | | | | |
| 0,45 | + 80 | | | | | | | |
| 0,4 | + 95 | | | | | | | |
| 0,35 | +110 | | | | | | | |
| 0,3 | +125 | | | | | | | |

marcă o creştere însemnată a cos φ neutral (de la 0,75 în 1955 pînă la 0,95 în 1968), o scădere a procentelor de bonificări acordate (de la 15%, în 1955, la cos $\varphi = 1$, la 5% în 1962) şi o creştere însemnată a cotelor de penalizări (de la 5%, la cos $\varphi = 0{,}7$, în 1955, la 40% în 1968).

Dacă se examinează evoluţia factorului de putere la marii consumatori industriali, de la introducerea sistemului de penalizări-bonificări (fig. 1), se observă că factorul de putere

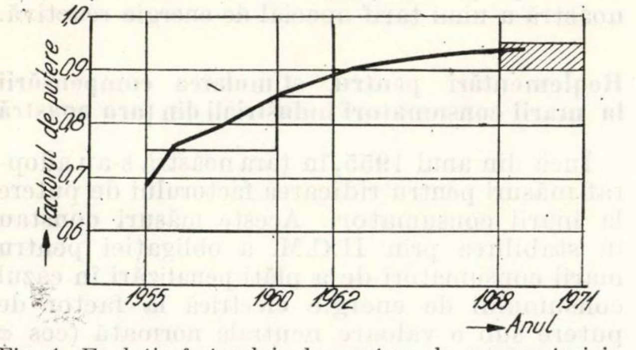



Fig. 1. Evoluţia factorului de putere la consumatori industriali :
——— factor de putere neutral; ━━━ factor de putere realizat,

a crescut rapid în această perioadă, de la circa 0,69 în 1955, la 0,94 — 0,95, în 1967.

Repetatele revizuiri ale scării de penalizări-bonificări au urmărit aducerea factorului de putere neutral la valorile realizate şi echilibrarea în acest fel a balanţei la bonificări-penalizări. În figura 2 se observă că au existat în toată această perioadă deficite (bonificări

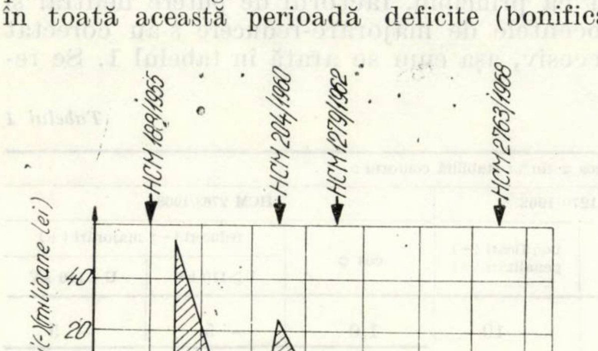



Fig. 2. Situaţia soldului anual la penalizări (+) — bonificări (—) acordate în funcţie de cos φ, în perioada 1955 — 1970.

acordate mai mari decît penalizări aplicate) care au trebuit acoperite de la buget.

Considerăm necesar a se studia dacă actualul sistem de bonificări-penalizări mai reprezintă un instrument suficient de eficace pentru promovarea unei politici adecvate de compensare a puterii reactive şi dacă nu este oportună găsirea de noi căi în sistemul de relaţii dintre consumatori şi furnizor, care să contribuie la o politică mai eficientă de compensare.

### Sisteme tarifare pentru energia reactivă aplicate în alte ţări

Aşa cum s-a văzut [1], în alte ţări ponderea surselor de putere reactivă în reţelele de distribuţie publică este importantă. În aceste condiţii este posibil să se livreze consumatorilor importante cantităţi de putere reactivă. Marii consumatori nu sînt determinaţi să se compenseze decît în măsura în care acest lucru rezultă economic pentru ei, ţinînd seama de preţul de cumpărare al energiei electrice, cu şi fără compensare, sau în măsura în care pot obţine avantaje tehnico-economice prin compensare, în propriile lor reţele de distribuţie. Această politică, diferită de politica de compensare de la noi din ţară, este oglindită de sistemele de tarifare pentru energia electrică [2], care prevăd condiţii destul de largi pentru furnitura de energie reactivă şi posibilitatea ca furnizorul să-şi recupereze cheltuielile pentru energia reactivă, furnizată prin preţul de vînzare al energiei electrice (tabelul 2).

Trebuie evidenţiate următoarele date, deosebit de semnificative :

a) În diverse ţări se întîlnesc de fapt trei sisteme pentru suportarea de către consumator a cheltuielilor furnizorului determinate de energia reactivă absorbită de consumator :

— Corectarea preţului de vînzare pentru energia activă în funcţie de factorul de putere realizat (în Cipru, Danemarca, Anglia, Suedia, Belgia, Italia, R.D.G., S.U.A.).

— Facturarea energiei reactive suplimentare (care depăşeşte cuantumul corespunzător unui factor de putere antestabilit) cu un tarif special de energie reactivă (în Austria, R. F. a Germaniei, Franţa, Luxemburg, Portugalia, R. P. Polonă, Elveţia, Turcia, Iugoslavia).

La aceste două sisteme, încasările furnizorului de energie electrică se modifică în funcţie de energia reactivă livrată.

— Acordarea de bonificări-penalizări, calculate în funcţie de factorul de putere realizat (R.S.C., R.P.U., U.R.S.S., R.P.B., R.S.R.). În acest sistem, ce se practică şi în ţara noastră, încasările furnizorului nu depind de nivelul factorului de putere sub care se consumă energia electrică, soldul penalizări-bonificări regularizîndu-se de la bugetul statului.

b) Valorile normate ale factorului de putere la abonaţi, care influenţează condiţiile de racordare şi obligaţiile financiare ale consumatorului, sînt :

— factorul de putere minim sub care nu este permisă racordarea (0,6 în Italia şi 0,8 în Cipru) ;

— factorul de putere neutral (sau de referinţă) ; la valori realizate sub cos $\varphi$ neutral se majorează tariful de energie activă, se facturează energia reactivă suplimentară sau se plătesc penalizări ; cos $\varphi$ neutral este în majoritatea ţărilor de 0,8 — 0,9. În ţara noastră el atinge valorile cele mai ridicate, fiind, după caz, de 0,92 — 0,95 ;

— factorul de putere maxim, peste care nu se mai majorează avantajele acordate consumatorului ; valorile sale sînt cuprinse între 0,9 (Belgia) şi 1,0 (R. S. România), ţara noastră prezentînd şi aici cea mai ridicată valoare (cos $\varphi$ = 1,0).

c) În ceea ce priveşte condiţiile în care factorul de putere influenţează tariful de energie activă sau sistemul de bonificări-penalizări, se constată următoarele :

— factorul de putere afectează în special preţul de vînzare al energiei (preţul de vînzare pe kWh) ;

— mărimea corecţiei este de obicei apropiată de diferenţa procentuală dintre cos $\varphi$ neutral şi cos $\varphi$ realizat.

Trebuie menţionat faptul că în ţara noastră valorile penalizărilor şi ale bonificărilor sînt cele mai mari întîlnite şi se aplică — în cazul aplicării tarifelor binome pentru energia activă — atît la taxa de putere cît şi la preţul energiei.

d) În unele ţări nu se obişnuieşte să se acorde bonificări sau reduceri la tarif la depăşirea valorii neutrale a cos $\varphi$ (Italia, Cipru, Belgia).

e) În cazul facturării energiei reactive se aplică în special tarif monom de energie reactivă, cu preţul pe kvarh de 13 — 27% din preţul pe kWh, corespunzător taxei de energie din tariful binom.

f) Factorul de putere realizat se apreciază în unele ţări la energiile absorbite în ore de zi.

Din examinarea sistemelor tarifare pentru energia electrică din alte ţări, rezultă că în majoritatea sistemelor chestiunea factorului de putere la abonaţi se rezolvă prin relaţia de la vînzător la cumpărător. Sistemul de tarifare directă, propriu-zisă, a energiei reactive este destul de răspîndit, iar condiţiile de vînzare a energiei reactive confirmă rezultatele de calcul prezentate în prima parte a lucrării.

**Problema factorului de putere neutral**

S-a văzut că toate sistemele tarifare cuprind o valoare normată cos $\varphi_n$ pentru factorul de putere neutral. La valoarea realizată cos $\varphi$ = cos $\varphi_n$, consumatorul nu are nici un fel de sume de plătit pentru consumul de putere reactivă. Realizarea unei valori cos $\varphi <$ cos $\varphi_n$ atrage întotdeauna cheltuieli suplimentare pentru consumator (plata energiei reactive, tarif majorat la energia activă sau penalizări). La cos $\varphi >$ cos $\varphi_n$, în unele cazuri se acordă avantaje consumatorului (plata unor prime, reducerea tarifului la energia activă sau bonificări). Acest mod de punere a problemei arată clar că factorul de putere neutral trebuie să aibă o semnificaţie tehnico-economică bine precizată. La majoritatea sistemelor tarifare din alte ţări se constată că valorile factorului de putere neutral sînt situate de obicei în banda 0,8 — 0,9.

Pentru aprecierea valorii adecvate a factorului de putere neutral, se pot avea în vedere următoarele considerente :

a) Valoarea neutrală a factorului de putere trebuie să reprezinte o valoare justificabilă economic la majoritatea consumatorilor din sistem, în condiţiile bazei de preţuri existente pentru instalaţiile de compensare şi a preţului de cost al furnizorului pentru energia activă produsă, precum şi pentru cea reactivă.

b) La valoarea neutrală aleasă pentru factorul de putere trebuie să se ţină seama de faptul că puterea reactivă disponibilă în centralele electrice trebuie să poată fi utilizată în locul surselor suplimentare de putere reactivă, ori de cîte ori vehicularea puterii reactive nu creează dificultăţi.

c) Compensarea puterii reactive trebuie să se facă în condiţiile cele mai economice pentru economia naţională, ţinînd seama de posibilitatea compensării atît la consumatori cît şi în reţelele de distribuţie publică.

Verificările făcute [3] pentru situaţia generală din ţara noastră arată că în unele cazuri nu se pot justifica la consumatori compensări peste 0,9. De aceea factorul de putere neutral este normal să rămînă apropiat de 0,9. La aceeaşi valoare conduc şi considerentele de la pct.b, datorită ponderii pe care o au în sistem grupurile termoelectrice cu factor de putere de 0,8 — 0,85 (care în viitor tinde să crească la valoarea 0,9).

În sfîrşit, dacă se are în vedere şi faptul că preţul de cost pe kvar la bateriile de condensatoare automatizate scade cu mărimea bateriei, se ajunge, de asemenea, la concluzia că o compensare mai concentrată, la nivelul distribuţiei publice, poate fi mai avantajoasă decît o compensare prea ridicată şi foarte dispersată la consumatori. Ţinînd seama şi de situaţia din alte ţări, rezultă că valoarea factorului de putere neutral de aproximativ 0,9 este corectă. În orice caz, nu pot rezulta ca fiind avantajoase din punct de vedere tehnico-economic

*Tabelul 2*

**Elemente de tarifare a energiei electrice influenţate de consumul de energie reactivă (Situaţia în diverse ţări)*)**

| Nr. crt. | Ţara | Elemente prin care se stimulează compensarea puterii reactive | cos $\varphi_{min}$ (rac.) | cos $\varphi_n$ | cos $\varphi_{max}$ 3) | Măsurarea cos φ realizat | Influenţa consumului de energie electrică asupra tarifării energiei electrice: Taxa de putere calculată la : | Componente de preţ corectate în raport cu cos φ | Mărimea corecţiilor. Condiţii de aplicare | Tarif de energie electrică: Cota de energie reactivă (în raport cu energia activă) care se facturează | Tarif de energie electrică: Preţ unitar procentual pe kVarh (% din preţul pe kWh) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Austria | cos $\varphi_n$ sub care se aplică majorări | — | 0,8 | — | energii lunare | kW | — | — | peste 0,75 1) | .. |
| 2 | Belgia | cos $\varphi_n$ de la care se fac reduceri sau majorări la preţul kWh | — | 0,8 2) (≥0,9) | 0,9 | energii lunare | kW | preţ/kWh | $p_1=p\times R; R=1-(\cos\varphi-0,8)\ 0,5\geqslant 0,95$ | — | |
| 3 | Bulgaria | cos $\varphi_n$ de la care se fac reduceri sau majorări la preţul kWh | — | 0,8 | — | energii lunare | kW | **) | barem de reduceri şi majorări procentuale (la consumator>30 kVA) | — | |
| 4 | Cipru | cos $\varphi_{min}$ sub care nu e permisă racordarea; cos $\varphi_n$ sub care se majorează taxa de putere | 0,8 | 0,85 | — | energii lunare de zi | kVA contr. | preţ/ kVA | preţul de bază se majorează cu atîtea procente cîte sutimi lipsesc pînă cos $\varphi_n$ | — | |
| 5 | Cehoslovacia | cos $\varphi_n$ de la care se aplică reduceri sau majorări | — | 0,9 | 0,98 | energii lunare de zi | kW | **) | majorări progresive de maximum 1,9% la cos φ = = 0,4; reduceri maxime 6% la 0,98 | — | |
| 6 | Danemarca | cos $\varphi_{min}$ conform caietelor de sarcini, taxa fixă pentru puterea aparentă | | | | | kW kVA | — | — | — | |
| 7 | R.F.a Germaniei | cos $\varphi_n$ sub care energia reactivă se taxează (numai la abonaţi speciali) | — | 0,9 | — | energii de zi | kW | — | — | peste 0,5 la energii în orele de zi | 15 |
| 8 | Finlanda | cos $\varphi_{min}$ sub care se introduce o taxă suplimentară de putere reactivă | — | 0,9 | — | puteri maxime lunare | kW kvar | — | — | — | |
| 9 | Franţa | cos $\varphi_n$ de la care se taxează energia reactivă; contractarea puterii aparente 4) | — | 0,85 | 0,93 | energii lunare de zi | kW | — | — | între 0,6 şi 0,4 în ore de zi, prime; peste 0,85 cost suplimentar | 12,5 |
| 10 | Ungaria | cos $\varphi_n$ sub care se aplică majorări şi reduceri | — | 0,85 | — | .. | kW | **) | majorări de : 12% la cos φ = 0,8; 34% la cos φ = 0,6; 80% la cos φ = 0,4 | — | |
| 11 | Italia | cos $\varphi_{min}$ sub care nu e permisă racordarea; cos $\varphi_n$ sub care se majorează preţul energiei | 0,6 | 0,8 | — | energii lunare | kW | preţ/kWh | majorare 1% pentru fiecare sutime lipsă pînă la cos$\varphi_n$ | — | |
| 12 | Luxemburg | cos $\varphi_n$ sub care se taxează energia reactivă (la consumator IT) | — | 0,76—0,85 | 0,93 | energii lunare în ore de zi | kW | — | — | între 0,6 şi 0,4 în ore de zi prime; peste 0,85 cost suplimentar | 26 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 13 | Polonia | cos $\varphi_n$ de la care se aplică penalităţi sau se facturează energia reactivă | — | 0,86[5] | — | energii lunare de zi | kW | **) | .. | peste 0,6 în ore de zi | 16 |
| 14 | Portugalia | cos $\varphi_n$ sub care energia reactivă se plăteşte | — | 0,75 (IT) 0,8(IT) 0,89 (FIT) | — | energii medii ore de zi | kW | — | — | peste 0,75 în ore de zi (IT) peste 0,50 în ore de zi (FIT) | 17—3) |
| 15 | România | cos $\varphi_n$ de la care se fac reduceri sau se aplică majorări | — | 0,93—0,95 | — | energii lunare | kW | **) | majorări progresive pînă la 80% la cos$\varphi$= 0,6; reduceri pînă la 5% la cos $\varphi$=1 | — | |
| 16 | Suedia | cos $\varphi_n$ sub care se majorează taxa de putere(numai la IT) | — | 0,8[6] | — | .. | kW | preţ/kW | .. | — | |
| 17 | Elveţia | cos $\varphi_n$ sub care energia reactivă se taxează | — | 0,8—0,9 conform contract | — | .. | kW | — | — | peste 0,5 sau 0,75 conform contract | .. |
| 18 | Turcia | În general nu există: la o singură societate, cos $\varphi_n$ sub care energia reactivă se taxează | — | 0,8 | — | energii lunare | kW | — | — | peste 0,75 | .. |
| 19 | U.R.S.S. | cos $\varphi_n$ de la care se aplică majorări sau reduceri la consumatori ⩾100 kVA | — | 0,9—0,92 | 0,95 | .. | kW | **) | majorări progresive pînă la 115% la cos$\varphi$= 0,4; reduceri regresive pînă la 6% la cos$\varphi$ = 1 | — | |
| 20 | Anglia | 7) cos$\varphi_n$ sub care se majorează taxa de putere; taxă fixă pentru putere aparentă; ajustarea puterii maxime active în funcţie de cos $\varphi$; taxă fixă pentru putere reactivă | — | .. | — | .. | kW kVA kvar | preţ/kW[8] | preţul pe kW creşte cu atîtea procente cîte sutimi lipsesc pînă la cos$\varphi$=0,9 (vezi şi 8) | — | |
| 21 | S.U.A. | cos $\varphi_n$ sub care se măreşte preţul furniturii | — | 0,85 | — | .. | .. | .. | .. | — | |
| 22 | Iugoslavia | cos $\varphi_n$ sub care energia reactivă suplimentară se taxează | — | 0,85[9] | — | energii de zi | — | — | — | peste 0,6[9] | .. |
| 23 | R.D.G. | Taxă fixă pentru puterea aparentă maximă absorbită; cos $\varphi_n$ de la care se aplică reduceri şi majorări la tariful energiei active | — | 0,85 | — | energii de zi | kVA măsurat | preţ/kWh | preţul pe kWh se ajustează în funcţie de sutimile în + sau —faţă de cos$\varphi$= 0,85 | — | |

1 — cu una sau două tranşe (energie de zi şi de noapte); 2 — la consumatori electrotermici; 3 — începînd de la care nu se mai măresc reducerile la tarif; 4 — la unele întreprinderi; 5 — pe bază de contract poate fi şi mai ridicat; 6 — prin contract se poate impune şi mai mult, cu reducerea corespunzătoare a taxei de putere; 7 — fiecare din cele 12 societăţi regionale aplică sistemul pe care-l preferă; 8 — în afară de corectarea preţului pe kW: stabilirea taxei de putere în raport cu puterea aparentă maximă absorbită; adăugarea unei taxe fixe la puterea reactivă maximă absorbită lunar, dacă ea depăşeşte 2/5 din puterea activă maximă (cos $\varphi$ = 0,93 la vîrful lunar); recalcularea puterii active maxime lunare în funcţie de cos $\varphi$ realizat cînd cos $\varphi$<0,95; 9 — informaţii mai recente (Electrosrbija, nr. 1 — 6, 1968, p. 11 — 19) menţionează cos $\varphi_n$= 0,9 şi propun creşteri pînă la 0,93 — 0,95 la 110 kV şi 0,95 — 0,97 la 220 kV. Energia reactivă suplimentară se plăteşte după tarif diferenţiat după orele din zi şi sezon.

*) Extras din materialul ONU [2]. Toate ţările au menţionat clauze tarifare în legătură cu puterea şi energia reactivă în general pentru tarif industrial sau tariful pentru consumatori mai mari (agricoli). Numai cos $\varphi_{min}$ se referă în general la majoritatea receptoarelor.

**) Penalizări-bonificări la valoarea facturii lunare.

LEGENDA

— nu există

.. nu se dispune de date

valori ale factorului de putere neutral de peste 0,95, care ar însemna de fapt irosire de mijloace de compensare, cu avantaje practic neglijabile la reducerea pierderilor în rețele, și alte cheltuieli ale furnizorului.

**Prețul de cost al energiei reactive comparativ cu prețul de cost al energiei active**

*Necesitatea ameliorării sistemului tarifar*

Sistemul aplicat pentru stimularea compensării trebuie să oglindească corect dependența prețului de cost al energiei electrice de factorul de putere.

Din examinarea curbei de bonificări-penalizări în vigoare, comparativ cu variația cheltuielilor suplimentare datorită furnizării energiei reactive (fig. 3), reiese că actuala scară de

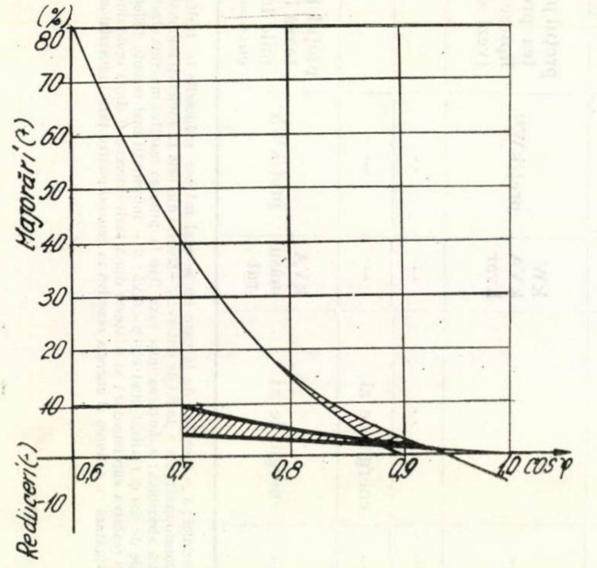


Fig. 3. Curba de majorări-reduceri (conform H.C.M. 2763/1968) și variația cheltuielilor suplimentare pentru furnizarea energiei reactive :
—— majorări – reduceri ; —— cheltuieli suplimentare.

bonificări-penalizări nu corespunde variației reale a cheltuielilor. Pe de altă parte, în sistemul aplicat, nu este posibil ca întreprinderile furnizoare de energie electrică să-și recupereze cheltuielile generate de livrarea de energie reactivă, cu toate că, la nivelul sistemului, trebuie întreprinse ample acțiuni de compensare.

Apreciem ca oportun a se studia modificarea actualului sistem tarifar pentru energia electrică și eventuala sa înlocuire cu un tarif pentru energia reactivă și eliminarea sistemului penalizări-bonificări pentru factor de putere.

Introducerea tarifării energiei reactive ar da posibilitatea producătorilor și furnizorilor de energie electrică să-și recupereze cheltuielile făcute pentru compensare prin vînzarea unei mărfi—energia reactivă—care este produsă de instalațiile furnizorului în condiții de preț de cost bine precizate.

Cu actuala dotare pentru măsurarea energiilor consumate de marii consumatori se poate trece la facturarea energiei reactive. De asemenea, tarifarea energiei reactive se poate extinde la orice fel de consumator mai important.

*Prețul de cost al energiei reactive*

Datele de bază pentru stabilirea prețului de cost al energiei reactive și rezultatele obținute în acest sens au fost arătate pe larg în [1]. În cele ce urmează se vor relua numai rezultatele finale, introducîndu-se noi interpretări, legate de valoarea neutrală a cos φ, evaluată la cos φ = 0,9.

În figurile 4 și 5 se arată, pe de o parte, costul specific al energiei reactive, în cazul în care s-ar factura întreaga energie reactivă livrată (fig.4), iar pe de altă parte costul specific al energiei reactive suplimentare, în cazul în care se facturează numai energia ce depășește cota corespunzătoare valorii neutrale cos φ = 0,9 (fig.5).

Din figura 4 se observă că facturarea întregii energii reactive livrate duce la un preț de cost pe kvarh de 4 — 8% din prețul de cost pe kWh (prețul de cost total pe kWh luat în ipoteza cos φ = 1, fără cheltuieli pentru energia reactivă).

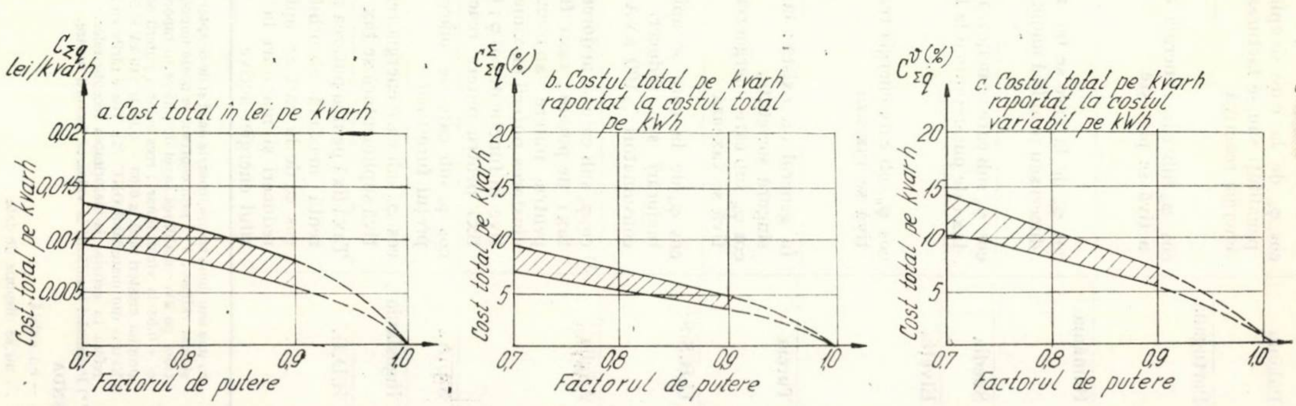



Fig. 4. Costul total pe kvarh furnizată și raportul lui față de costul pe kWh (Raportarea s-a făcut la costul pe kWh din varianta cos φ = 1,0).

Dacă se are în vedere un factor de putere neutral cos $\varphi = 0,9$ (fig. 5), se obţine un preţ de cost pe kvarh suplimentară de 8 – 15% din preţul de cost pe kWh (preţul de cost total pe kWh în ipoteza cos $\varphi = 0,9$). Raportînd preţul de cost pe kvarh la preţul de cost variabil pe kWh (preţul pe kWh conform tarifului binom), se obţin valori procentuale de 6 – 14%, în cazul facturării întregii energii reactive livrate, şi de 12 – 20%, în cazul facturării energiei reactive suplimentare. Aceste cifre sînt în concordanţă cu valorile întîlnite în alte ţări pentru tariful de energie reactivă.

În ceea ce priveşte preţul de cost al energiei reactive la diverse tensiuni de racordare a sarcinilor, în [1] s-a arătat că raportul dintre costul pe kvarh şi costul pe kWh este practic constant, indiferent de tensiunea de racordare. În aceste condiţii, preţul de vînzare pe kvarh se poate stabili pe baza unei valori procentuale constante şi a unui preţ pe kWh diferenţiat după tensiunea de racordare.

## Propuneri pentru introducerea unui tarif de energie reactivă

Din elementele generale şi preţ de cost prezentate în cele două părţi ale lucrării se conturează următoarele măsuri oportune pentru perfecţionarea tarifelor de energie electrică:

– introducerea unui tarif monom pentru energia reactivă la marii consumatori industriali şi similari;

– adoptarea unei valori neutrale a factorului de putere apropiată de cos $\varphi = 0,9$;

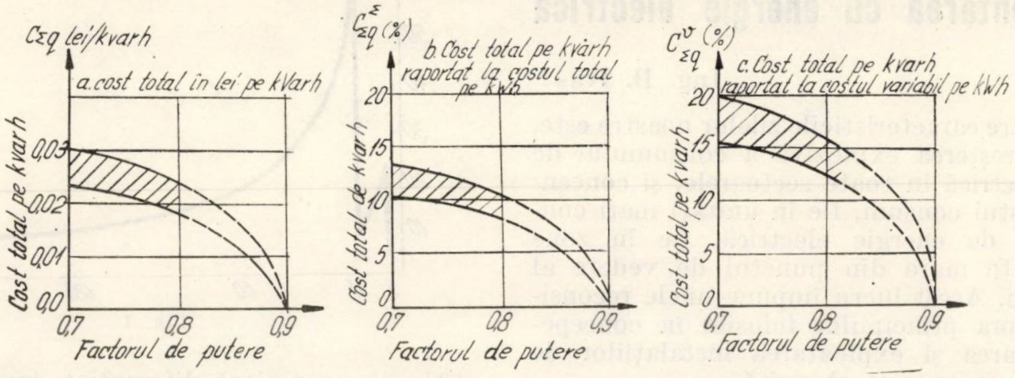



Fig. 5. Costul total pe kvarh suplimentară şi raportul lui faţă de costul pe kWh (Raportarea s-a făcut la costul pe kWh din varianta cos $\varphi = 0,9$).

– facturarea energiei reactive consumate suplimentar, peste valorile ce corespund valorii neutrale de 0,9;

– stabilirea unui preţ pe kvarh consumată suplimentar, conform unei valori procentuale de 12 – 20% din preţul pe kWh; cota procentuală adoptată să fie aceeaşi, indiferent de tensiunea de racordare a consumatorului, diferenţierea pe tensiuni realizîndu-se prin diferenţierea preţului pe kWh.

Realizarea acestor propuneri va putea contribui la promovarea unei politici mai adecvate de compensare în sistem şi la ameliorarea generală a performanţelor de funcţionare a sistemului.

**Bibliografie**


[1] I a n c o v i c i, P. ş i G r ă n i c e a n u, M. *Aspecte economice ale compensării puterii reactive în sistemul energetic naţional.* Partea I. În: Energetica, nr. 11, 1971.

[2] * * * *Analyse des systèmes tarifaires de l'énergie électrique de divers pays.* (Etude du Sécrétariat) ONU – Comisia Economică pentru Europa, Comitetul de energie electrică.

[3] * * * *Studiul unor aspecte tehnice şi economice ale compensării puterii reactive şi implicaţiile lor asupra costului şi tarifării energiei electrice.* Studiu I.S.P.E., 1971.


**(Articol intrat în redacţie la 9 octombrie 1971)**

# Consideraţii asupra relaţiilor folosite pentru determinarea indicatorului economic al continuităţii în alimentarea cu energie electrică

Ing. D. Ivas *)

Una dintre caracteristicile zilelor noastre este, pe lîngă creşterea explozivă a consumului de energie electrică în toate sectoarele, şi concentrarea acestui consum, fie în unităţi mari consumatoare de energie electrică, fie în zone cu densitate mare din punctul de vedere al consumului. Acest lucru impune unele reconsiderări asupra principiilor folosite în conceperea, realizarea şi exploatarea instalaţiilor de alimentare cu energie electrică.

Continuitatea a devenit unul dintre principalele criterii de apreciere a sistemelor de alimentare cu energie electrică, lucru dovedit şi de bogata literatură de specialitate apărută pe această temă. Funcţie aleatoare, cu efecte multiple, adeseori tot de natură aleatoare, continuitatea în alimentare este mai dificil de apreciat valoric decît ceilalţi indicatori ce caracterizează sistemele de alimentare cu energie electrică (cheltuieli de investiţii, exploatare etc.). Pentru o anume categorie de consumatori, care în unele lucrări de specialitate au fost numiţi consumatori cu daune nominalizate, continuitatea în alimentare este evaluată în cadrul metodelor de apreciere a sistemelor de alimentare cu energie electrică sub forma unui indicator denumit ,,costul daunei probabile cauzate de întreruperile în alimentarea cu energie electrică'' şi notat cu $D$. Valoarea acestui indicator se calculează sub forma cea mai simplă cu relaţia :

$$D = n_m \cdot \theta_m \cdot P_m \cdot \alpha, \tag{1}$$

în care

$n_m$ este numărul mediu probabil de întreruperi ;

$\theta_m$ — durata medie probabilă a întreruperilor ;

$P_m$ — puterea medie probabil întreruptă ;

$\alpha$ — costul mediu al kilowatt-orei nelivrate.

Duratele întreruperilor variază, însă exprimarea lor prin valoarea medie poate introduce erori, cu atît mai mult cu cît valoarea lui $\alpha$ variază uneori foarte mult, în funcţie de timpul de întrerupere $\theta$[1], [2]. Un exemplu de variaţie a valorii lui $\alpha$ cu timpul de întrerupere $\theta$ este dat în figura 1.

*) Ing. Dumitru Ivas este şef de lucrări la catedra de Electroenergetică a Institutului politehnic — Iaşi.

O relaţie mai apropiată de cea completă este aceea care diferenţiază întreruperile după cauza şi durata lor. O astfel de relaţie, dată în

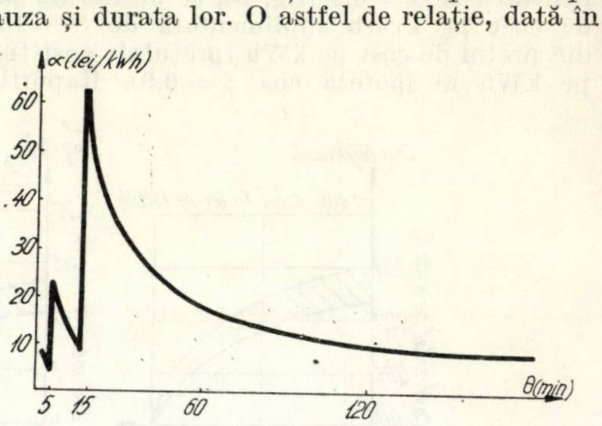



Fig. 1

[3], care apreciază diferenţiat daunele proporţionale cu numărul de întreruperi şi cele proporţionale cu durata înreruperilor, este următoarea :

$$D = P_m \cdot \theta_d \cdot (b_p + \alpha) + d_1 \cdot n_1 + d_2 n_2, \tag{2}$$

în care

$P_m$ este puterea medie probabil întreruptă ;

$\theta_d$ — durata totală probabilă a întreruperilor ;

$b_p$ — pierderile pentru producătorul de energie electrică ;

$d$ — paguba pentru economia naţională diferenţiată după durata întreruperii ;

$n_1, n_2$ — numărul mediu probabil de întreruperi de scurtă, respectiv de lungă durată.

Valorile corespunzătoare lui $d$ se citesc, în funcţie de durata întreruperii, din diagrame de forma celor din figura 2*a*, care se găsesc deja în literatura de specialitate pentru o parte din consumatori [1], [4].

Pe baza diagramelor care dau valoarea daunelor $d$ în funcţie de timpul de întrerupere $\theta$, s-a elaborat o metodă mai completă de determinare a valorii lui $D$, metodă care apreciază siguranţa sistemului de alimentare cu energie electrică sub forma unui spectru $H = f(\theta)$, ce dă frecvenţele întreruperilor funcţie de durata acestora. Figura 2*b* arată forma acestuia şi ordonează întreruperile după cauze şi după modul în care se face restabilirea alimentării cu energie electrică. De exemplu, întreruperi datorate acţionării protecţiei :

— restabilite prin : — RAR
— telecomandă
— manual
— reparaţii şi revizii fără rezervare.

Relaţia de determinare a valorii lui $D$ poate fi pusă în acest caz sub forma :

$$D = \sum_{i=1}^{i=z} d_i \cdot H_i \tag{3}$$

în care

$z$ este numărul de categorii de întreruperi după durată ;

$d_i$ — dauna corespunzătoare întreruperii de durată $\theta$ ;

$H_i$ — frecvenţa întreruperilor de durată $\theta$.

O deosebită atenţie trebuie acordată în acest caz raportului dintre timpul pentru care se calculează valoarea lui $D$ şi timpul probabil dintre două întreruperi consecutive de aceeaşi durată $\theta$. Dacă cei doi timpi sînt apropiaţi ca valoare, relaţia se corectează cu un coeficient $a_i$ a cărui valoare aleatoare introduce în relaţie influenţa pe care o are momentul primei întreruperi faţă de începutul timpului de calcul [2]. De asemenea, dacă durata de calcul este mai mare de un an, valoarea $D$ a daunelor se actualizează ca orice cheltuieli.

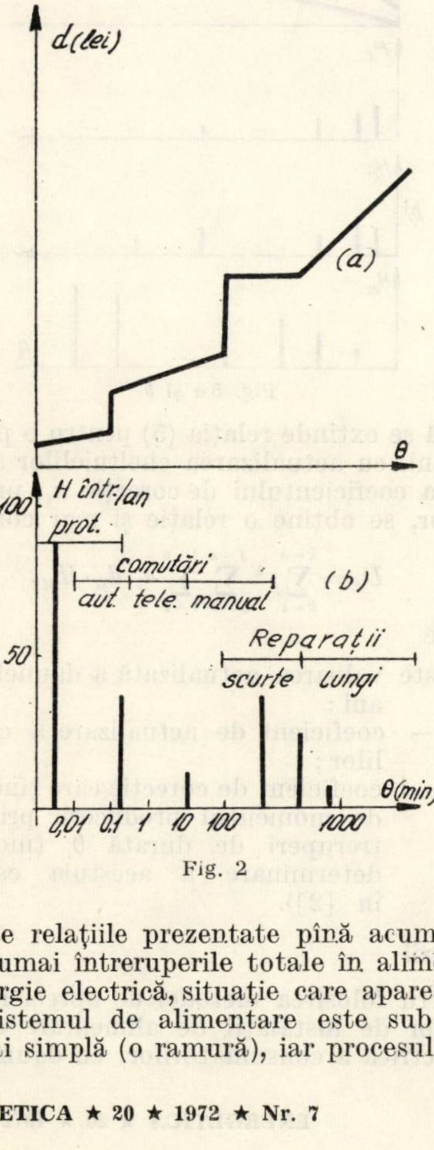


Fig. 2

Toate relaţiile prezentate pînă acum consideră numai întreruperile totale în alimentarea cu energie electrică, situaţie care apare atunci cînd sistemul de alimentare este sub forma cea mai simplă (o ramură), iar procesul tehnologic, reprezentat în calcule sub forma diagramei $d = f(\theta)$, este unic.

În realitate sistemele de alimentare conţin două sau mai multe ramuri (surse) de alimentare şi deci există şi întreruperi parţiale, iar consumatorii, fiind în cele mai multe cazuri formaţi din mai multe procese tehnologice (secţii), sînt caracterizaţi printr-o familie de curbe care redau daunele produse de întreruperile în alimentarea cu energie electrică a fiecărui proces tehnologic, în funcţie de durata acestor întreruperi. Acest raţionament se poate extinde asupra alimentării unei zone industriale formate din mai multe fabrici ale căror caracteristici $d = f(\theta)$ diferă. În figura 3 se prezintă un caz în care trei surse diferite (*a*, *b* şi *c*) alimentează trei procese tehnologice (*1'*, *2'* şi *3'*).

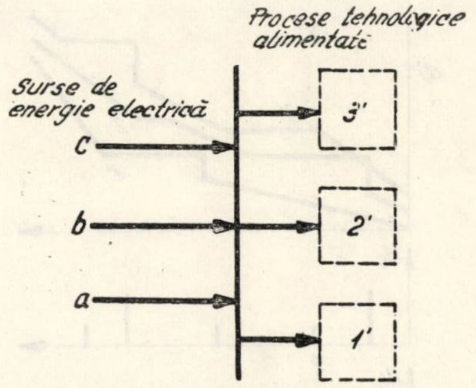


Fig. 3

În cadrul întreruperilor parţiale, vor fi sacrificaţi (decuplaţi) consumatorii cu daune mai mici (corespunzător ordinii *1'*, *2'*, *3'*...*x'* din figura 4*a*, figură care prezintă daunele $d$ ca funcţie de $\theta$ pentru secţiile *1'*, *2'*, *3'*, ...din figura 3). În figura 4*b* se dau spectrele $H = f(\theta)$ pentru cele trei surse de alimentare *a*, *b* şi *c*.

Dacă se admite ipoteza că puterile absorbite de fiecare din secţiile *1'* *2'* şi *3'*, precum şi puterile individuale ale celor trei surse sînt egale între ele, în funcţie de stările de disponibilitate ale surselor, se vor obţine următoarele stări de nefuncţionare parţială cu spectrele $H = f(\theta)$ corespunzătoare :

I. Secţia *1'* sacrificată (decuplată), atunci cînd oricare dintre sursele de alimentare este indisponibilă. Spectrul frecvenţă-durată de întrerupere pentru acest caz, notat cu $H_\alpha$, va avea, conform [6] frecvenţele mai mari deplasate spre durate mai mari (în raport cu spectrele $H_a$, $H_b$, $H_c$). Relaţia pentru determinarea lui $H_\alpha$ este dată în [4]. Daunele produse de acest tip de întrerupere sînt cele ale secţiei 1' şi sînt date de curba *1* din figura 5*a*, identică cu *1'* din figura 4*a*.

II. Secţiile *1'* şi *2'* decuplate simultan, situaţie care apare atunci cînd oricare pereche de

surse este indisponibilă. Spectrul corespunzător este dat în relaţia (4) şi este notat cu $H_\beta$. Valoarea daunelor corespunde în acest caz curbei *2* din figura 5*a*, curbă care rezultă din însumarea curbelor *1'* şi *2'* din figura 4 *a*.

III. Toate cele trei secţii sînt decuplate, situaţie care corespunde cazului întreruperii simultane a celor trei surse. Spectrul va fi dat în

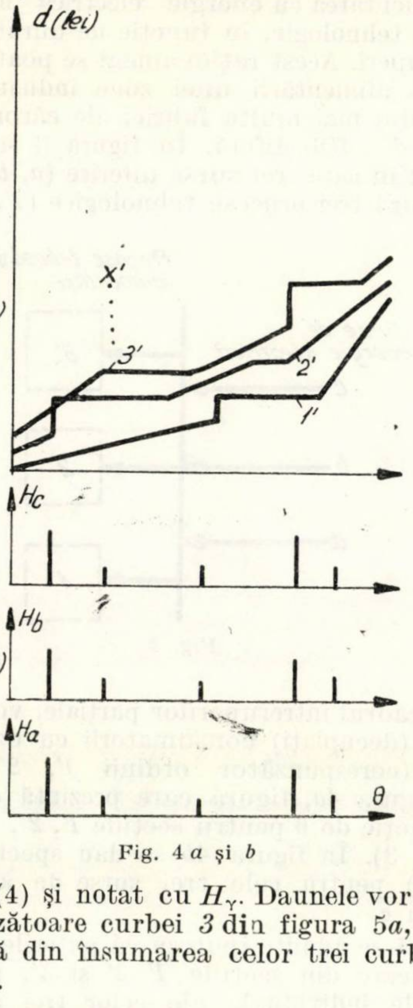



Fig. 4*a* şi *b*

relaţiile (4) şi notat cu $H_\gamma$. Daunele vor fi cele corespunzătoare curbei *3* din figura 5*a*, curbă se rezultă din însumarea celor trei curbe din figura 4*a*.

$$H_\alpha = H_a \cup H_b \cup H_c$$
$$H_\beta = (H_a \cap H_b) \cup (H_a \cap H_c) \cup (H_b \cap H_c) \quad (4)$$
$$H_\gamma = H_a \cap H_b \cap H_c$$

O metodologie pentru rezolvarea relaţiilor (4) este dată în [6].

Pentru determinarea valorii probabile a daunei anuale produse de întreruperile parţiale şi totale, se vor însuma valorile $D_j$ ($j = 1, 2, 3, \ldots, x$) corespunzătoare curbelor *1, 2, 3,... x* din figura 5*a*, valori ce se vor obţine cu relaţii similare relaţiei (3). Noua relaţie, ce rezultă din raţionamentele anterioare, are forma:

$$D = \sum_{j=1}^{j=x} \sum_{i=1}^{i=z} d_{ji} \cdot H_{ji} \quad (5)$$

în care

$d_{ji}$ este dauna corespunzătoare situaţiei *j* (citită pe curba *j* din figura 5*a*) pentru întreruperea de durată $\theta_i$;

$H_{ji}$ — frecvenţa de apariţie a situaţiei *j*, care durează $\theta_i$ (cele trei spectre corespunzătoare situaţiilor I, II, III din exemplul tratat mai sus sînt date în figura 5*b*).

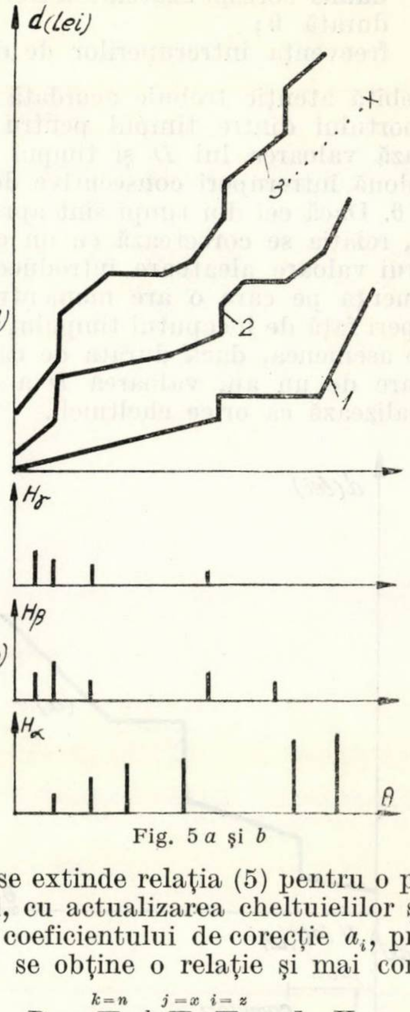



Fig. 5*a* şi *b*

Dacă se extinde relaţia (5) pentru o perioadă de *n* ani, cu actualizarea cheltuielilor şi introducerea coeficientului de corecţie $a_i$, prezentat anterior, se obţine o relaţie şi mai completă:

$$D_s = \sum_{k=1}^{k=n} f^{-k} \sum_{j=1}^{j=x} \sum_{i=1}^{i=z} a_i \cdot d_{ji} \cdot H_{ji}, \quad (6)$$

în care

$D_s$ este valoarea actualizată a daunelor pe *n* ani;

*f* — coeficient de actualizare a cheltuielilor;

$a_i$ — coeficient de corecţie care ţine seama de momentul producerii primei întreruperi de durată $\theta_i$ (modul de determinare a acestuia este dat în [2]).

## Concluzii

Pentru folosirea metodei de apreciere a variantelor de instalaţii de alimentare cu energie electrică a consumatorilor, cu daune nomi-

nalizate, pe baza indicatorilor economici, este necesar ca determinarea indicatorului economic al continuităţii în alimentare să se facă cu o precizie apropiată de cea cu care se determină ceilalţi indicatori (cheltuielile de investiţii, exploatare etc.). Acest lucru este posibil dacă metodele de calcul se vor baza pe ipoteze cît mai apropiate de situaţia reală. Tehnica de calcul actuală permite din ce în ce mai mult acest lucru.

**Bibliografie**


[1] Poeată, A. I., Ivas, D., Alexandrescu, Gh. V. şi Cîrţînă, Gh. *Contribuţii la întocmirea şi completarea modelului matematic pentru calculul siguranţei optime în alimentarea cu energie electrică.* În: Energetica, nr. 4, 1971, p. 168–172.

[2] Lindner, H. *Ökonomische Bewertung der Zuverlassigkeit der Elektroenergieversorgung von Industriebetrieben.* În: Energietechnik, Heft 8, august 1968.

[3] Albert, H. şi Negoiţă, V. *Condiţiile de siguranţă impuse de consumatori alimentării din sistem şi influenţa acestora asupra soluţiei adoptate.* Consfătuirea tehnico-ştiinţifică ,,Siguranţa în alimentarea cu energie electrică şi căldură a marilor consumatori industriali'', Galaţi, 1970.

[4] Moldoveanu, N. *Consideraţii generale privind efectele întreruperilor în alimentarea cu diverse forme de energie şi diverse utilităţi şi determinarea corespunzătoare a sistemelor de alimentare respective.* Consfătuirea tehnico-ştiinţifică ,,Siguranţa în alimentarea cu energie electrică şi căldură a marilor consumatori industriali'', Galaţi, 1970.

[5] Kloeppel, F. W. şi Schaller, D. *Schadenorientiertes Verfahren zur Berechnung der Zuverlässigkeit der Elektroenergieversorgung* În: Energietechnik, Heft 8, august 1968.

[6] Soci, A. *Introducerea evaluării economice a continuităţii alimentării electrice a consumatorilor în compararea variantelor de reţele electrice.* Consfătuirea tehnico-ştiinţifică ,,Siguranţa în alimentarea cu energie electrică şi căldură a marilor consumatori industriali'', Galaţi, 1970.


**(Articol intrat în redacţie la 10 februarie 1972)**

# Accidente maxime în centralele nuclearoelectrice. Sisteme de reducere a efectelor termodinamice şi metode de calcul al acestora

Ing. **M. Ţenescu**, ing. **C. Popa** şi ing. **M. Gheorghiu***)

Una dintre problemele principale în exploatarea unei centrale nuclearoelectrice o constituie controlul asupra inventarului de material radioactiv, fapt care a stimulat aprofundarea studierii fenomenelor termo şi hidrodinamice ce au loc în eventualitatea unui accident, găsirea de noi soluţii de absorbţie a energiei degajate, precum şi perfecţionarea soluţiilor existente.

## Accident maxim credibil

Problema descărcării circuitului primar constituie prima etapă în studierea comportării tranzitorii survenite ca urmare a unui accident maxim credibil, petrecut în partea nucleară a CNE. A doua etapă o constituie studiul evoluţiei parametrilor termodinamici în anvelopa de protecţie (containment) şi alegerea soluţiei de reducere a acestor parametri în funcţie de tipul reactorului.

Accidentul maxim credibil, spre deosebire de cel maxim posibil, este presupus a se întîmpla efectiv, cu o probabilitate determinată atît de tipul şi caracteristicile reactorului cît şi de modul în care accidentul este definit.

Majoritatea concepţiilor de securitate consideră ca accident maxim credibil depresurizarea circuitului primar cauzată de ruperea conductelor şi pierderea agentului de răcire.

Normele S.U.A. consideră că depresurizarea se realizează prin descărcarea întregului inventar de agent de răcire din circuitul primar, cu un debit echivalent unei rupturi totale, care face ca agentul de răcire să se scurgă prin amîndouă capetele rupte.

Tipul conductei ce se presupune că se rupe depinde de filieră. Astfel, pentru BWR se consideră ruperea buclei de recirculare a apei în reactor, iar pentru PWR, spargerea unei conducte principale pe traseul reactor — generator de abur — pompă de circulaţie — reactor. Accidentul maxim credibil definit ca mai sus este conţinut în marea majoritate a rapoartelor de securitate.

În mod excepţional la CNE PWR Fessenheim (Franţa) este reţinută ideea că accidentul maxim este dat de depresurizare prin spargerea vasului de presiune. Acest tip de accident este considerat a fi accident maxim posibil (AMP) şi nu constituie un punct de pornire a calculelor.

## Descărcarea circuitului primar

Conceptul fizic folosit pentru studiul procesului asimilează circuitul primar cu un rezervor de apă sub presiune, care în urma accidentului se pune în contact cu spaţiul înconjurător aflat

*) Mircea Ţenescu este inginer proiectant principal II la I.S.P.E; Costin Popa şi Mihai Gheorghiu sînt ingineri proiectanţi la ISPE.

la 1 ata (există de fapt o ușoară depresiune de circa 6–10 mm $H_2O$ apă, menținută pentru a evita scăpările de aer activat către exterior).

Ipotezele considerate sînt :

— vaporizarea completă a apei și ulterior ejectarea acesteia ;

— localizarea inferioară a spărturii, ceea ce înseamnă că fluidul care continuă să iasă și după apariția primului nucleu de vaporizare pînă la ejectarea sa completă este apa ;

— oprirea instantanee a reactorului datorită reducerii capacității de moderare a moderatorului (prin vaporizare și ulterior prin pierderea acestuia), corelată cu intervenția organelor de reglaj pentru avarie (barele de oprire) ;

— neglijarea frecării fluidului la ieșirea din spărtură ;

— neglijarea căldurii degajate datorită dezintegrării postaccidentale sau reacției material de teacă-apă ;

— neglijarea prezenței compensatorului de presiune.

Se observă că în aceste ipoteze se prezintă cazul cel mai pesimist, caz care constituie punctul de plecare a calculelor de dimensionare a soluțiilor de reducere a efectelor postaccidentale.

Cantitatea de fluid ce se scurge în timpul $\Delta\tau$ (s) prin secțiunea de rupere S(m²) va fi

$$\Delta G = \gamma W S \Delta\tau, \quad (1)$$

în care

$\gamma$ este greutatea specifică a apei la parametrii de ieșire, kgf/m³ ;

$W$ — viteza apei atinsă în secțiunea de ieșire, m/s.

Viteza de ieșire a apei $W$ rezultă din legea Bernoulli :

$$W = \sqrt{2g\frac{p_{intr} - p_e}{\gamma}10^4} \text{ [m/s]}, \quad (2)$$

în care

$p_{intr}$ este presiunea nominală a agentului primar, kgf/cm² ;

$p_e$ — presiunea din spațiul înconjurător circuitului primar, $p_e = 1$ kgf/cm².

Din relațiile (1) și (2) și luînd în considerare pentru corecția datorită scurgerii prin ajutaje coeficientul de curgere $\mu = 0{,}6$, se obține

$$\Delta G = 0{,}6 \cdot S \cdot \Delta\tau \cdot \sqrt{2g\frac{p_{intr} - p_e}{v}10^4} \text{ [kgf]} \quad (3)$$

*Faza 1.* În intervalul de timp $\Delta\tau_i = \tau_i - \tau_{i-1}$, cantitatea de apă ieșită va fi

$$\Delta G_i = 0{,}6 \cdot \Delta\tau_i \cdot S\sqrt{2g\frac{p_i - p_e}{v_i}10^4} \quad (3')$$

$i = 1, 2, \ldots, m$, cu observațiile că indicele $m$ se atinge la punctul de saturație și că $\tau_0 = 0$ și $\tau_1 - \tau_0 = \tau_2 - \tau_1 = \tau_3 - \tau_2 = \ldots = \tau_m - \tau_{m-i}$ (ceea ce exprimă că intervalele de timp folosite pentru determinarea variațiilor au fost alese egale între ele. Valorile acestor intervale depind de debitele de ieșire, deci de secțiunile de rupere considerate.)

Cunoscînd cantitatea $\Delta G_i$ ieșită, se determină cantitatea de apă rămasă în circuit $G_i$ și, corespunzător, volumul specific $v_i$. Cu acestea

$$v_{i+1} = \frac{G_i\, v_i}{G_{i+1}} = \frac{G_i \cdot v_i}{G_i - \Delta G_i} \text{ [m}^3\text{/kgf]} \quad (4)$$

Cum temperatura apei rămîne constantă în timpul procesului de scădere a presiunii și pînă la saturație, din tabelele de apă și abur supraîncălzit se determină presiunea $p_{i+1}$, atinsă după intervalul $\sum_{i=1}^{m} \Delta\tau_i$ [s].

*Faza 2.* Se consideră că în următorul interval de timp $\Delta\tau_i = \tau_i - \tau_m$ iese o cantitate de apă $\Delta G_i$, după care se produce vaporizarea unei cantități de apă. În timpul vaporizării se presupune orificiul închis, astfel încît nici o cantitate de apă nu iese.

*Observație.* În această fază, 2, pentru a marca timpii trecuți după momentul $m$, se notează $i = m + j$, cu $i = m + 1, m + 2, \ldots, n$, deci $j = 1, 2, \ldots, n - m$. Punctul $n$ reprezintă momentul în care s-a vaporizat întreaga cantitate de apă și în continuare va ieși prin spărtură numai abur.

Se pot scrie următoarele ecuații (fig. 1–3) :

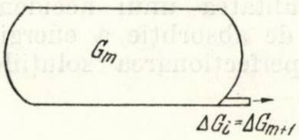



Fig. 1

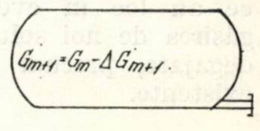



Fig. 2

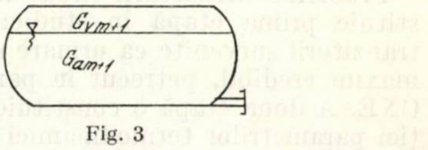



Fig. 3

$$G_{m+1} = G_{a_{m+1}} + G_{v_{m+1}} \quad (5)$$

$$i'_{m+1} G_{m+1} = i'_{a_{m+1}} G_{a_{m+1}} + i''_{v_{m+1}} G_{v_{m+1}} \quad (6)$$

$$V = G_{a_{m+1}} v'_{a_{m+1}} + G_{v_{m+1}} v''_{v_{m+1}}, \quad (7)$$

în care

$i'_{m+1}$ este entalpia cantității $G_{m+1}$ de apă [kcal/kgf];

$i'_{a_{m+1}}$ și $i''_{v_{m+1}}$ — entalpiile cantităților de apă respectiv abur $G_{a_{m+1}}$ și $G_{v_{m+1}}$ [kcal/kgf];

$V$ — volumul fizic al circuitului primar, $V = G_m \cdot v_m$ [m³];

$v'_{a_{m+1}}$, $v''_{v_{m+1}}$ — volumele specifice ale cantităților $G_{a_{m+1}}$ și $G_{v_{m+1}}$ [m³/kgf].

Operînd analitic asupra sistemului, se obține identitatea:

$$\frac{i'_{m+1} G_{m+1} - i''_{v_{m+1}} G_{m+1}}{i'_{a_{m+1}} - i''_{v_{m+1}}} = \frac{V - G_{m+1} v''_{v_{m+1}}}{v'_{a_{m+1}} - v''_{v_{m+1}}}, \qquad (8)$$

care este satisfăcută pentru o singură valoare a presiunii. Deci calculul se efectuează prin încercări.

Pentru fazele umătoare, deci pentru $j = 2, 3, 4, \ldots, n - m$, se va stabili un sistem de recurență cu ajutorul căruia se vor putea determina presiunile pînă la punctul de terminare a vaporizării.

Procedînd ca mai sus, se obține identitatea (vezi și fig. 4 — 6):

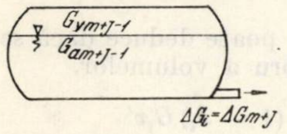


Fig. 4

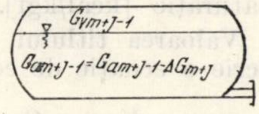


Fig. 5

$$\frac{i'_{a_{m+j-1}} G_{a_{m+j-1}} + i''_{v_{m+j-1}} G_{v_{m+j-1}} - i''_{v_{m+j}} (G_{a_{m+j-1}} + G_{v_{m+j-1}})}{i'_{a_{m+j}} - i''_{v_{m+j}}} \equiv$$

$$\equiv \frac{V - v''_{v_{m+j}} (G'_{a_{m+j-1}} + G_{v_{m+j-1}})}{v''_{v_{m+j}} - v'_{a_{m+j}}} \qquad (9)$$

cu

— $i'_{a_{m+j-1}}$, $v'_{a_{m+j-1}}$, $i''_{v_{m+j-1}}$, $v''_{v_{m+j-1}}$ entalpiile și volumele specifice corespunzătoare stării din figura 5;

— $i'_{a_{m+j}}$, $v'_{a_{m+j}}$, $i''_{v_{m+j}}$, $v''_{v_{m+j}}$ entalpiile și volumele specifice corespunzătoare stării din figura 6.

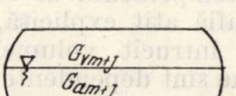


Fig. 6

Prin încercări succesive se determină presiunea la care identitatea (9) este satisfăcută.

Calculul se desfășoară analog pînă cînd se termină vaporizarea agentului din circuit și în acesta rămîne doar abur saturat (momentul $i = n$); presiunea corespunzătoare este $p_i = p_n$.

*Faza 3.* În cadrul acestei faze se consideră ieșirea aburului prin spărtură, iar cantitatea eșapată în intervalul de timp $\Delta \tau_i$ ($i = n + k$ cu $k = 1, 2, \ldots, p - n$, adică $i = n + 1, n + 2, \ldots, p$), va fi:

$$\Delta G_i = 0{,}6 \cdot S \cdot \Delta\tau_i \cdot 91{,}5 \sqrt{\Delta i_i} \text{ [kgf]}, \qquad (10)$$

în care

$\Delta i_i$ este căderea adiabatică de entalpie între presiunea din circuit și cea la ieșirea din spărtură. Deoarece spărtura este un ajutaj convergent, prin curgerea aburului, în secțiunea de ieșire se atinge viteza sunetului. Corespunzător, parametrii vor fi cei critici, presiunea critică determinîndu-se cu formula (11):

$$p_{cr_i} = \beta \cdot p_{i-1}, \qquad (11)$$

în care $\beta = 0{,}577$ pentru abur saturat.

Volumul specific al aburului rămas în circuit după ieșirea cantității $\Delta G_i$ se determină cu relația

$$v_i = \frac{G_{i-1} v_{i-1}}{G_i} = \frac{G_{i-1} v_{i-1}}{G_{i-1} - \Delta G_i} \text{ [m³/kgf]}$$

și din tabelele de apă și abur în stare de saturație, rezultă presiunea $p_i$ [kgf/cm²].

Calculul continuă pînă la ieșirea întregii cantități de abur (momentul $p$).

**Sisteme de protecție**

În practica mondială sistemele de protecție folosite sînt: sistemul cu presiune totală, sistemul cu atenuarea presiunii și sistemul cu presiune negativă.

Primele două sisteme au prevăzute subsisteme de răcire a zonei active, de pulverizare în anvelopa de protecție, precum și de evacuare a produselor de fisiune.

Atenuarea presiunii se poate realiza fie prin barbotare în apă stagnantă, fie prin condensarea aburului produs, pe pat de gheață.

Anvelopa de protecție („containment") este o incintă etanșă la gaze, amplasată în jurul reactorului, cu scopul de a reține produsele de fisiune emise în eventualitatea unui accident. Ea trebuie să reziste la consecințele mecanice (generare de proiectile) și termice (presiuni, temperaturi, dilatări etc.).

Cunoscînd procesul de descărcare a circuitului primar, se studiază evoluția parametrilor termodinamici în cazul absenței și prezenței sistemelor tehnologice de reducere a valorilor de vîrf ale acestor parametri.

**Studiul parametrilor termodinamici**

*Sistem cu presiune totală.*

— F ă r ă  p u l v e r i z a r e

Anvelopa trebuie dimensionată astfel încît integritatea ei să fie menţinută în condiţiile de temperatură şi presiune maxime postaccidentale, rezultate în urma amestecului aburului ieşit din spărtură cu aerul stagnant în anvelopă.

Ipotezele ce stau la baza procesului sînt : sistemele ce iau parte la proces sînt închise şi li se cunosc stările dinainte de accident ; se neglijează pierderile de căldură prin pereţii anvelopei, supraîncălzirile echipamentelor interioare, degajările de energie ca urmare a unor excursii de putere sau a reacţiilor dintre teacă şi apă la temperaturi înalte ; se presupune amestecul instantaneu şi integral între abur şi aer, neefectuîndu-se lucru mecanic ; dimensiunile anvelopei sînt stabile ; nu se consideră descărcarea simultană a circuitelor radioactive auxiliare cu a circuitului primar ; în calcule s-a considerat că energiile interne dictează atingerea parametrilor finali şi că aerului din anvelopă i se aplică legile gazelor perfecte, căldura specifică la volum constant fiind constantă.

Metoda a fost studiată şi de R.B. Galli şi B. G. Lord.

Ecuaţia primului principiu al termodinamicii :

$$dQ = du + AdL \quad (12)$$

în care

$dQ$ este cantitatea de căldură schimbată ;
$du$ — variaţia energiei interne ;
$AdL$ echivalentul termic al lucrului mecanic efectuat,

devine :

$$du = 0, \quad (12')$$

adică energia internă iniţială a sistemelor (apă şi aer din anvelopă), se regăseşte în starea finală (aer +apă la saturaţie +abur la saturaţie).

Energia iniţială $E_{in_i} = E'_{apă_i} + E'_{aer}$ [kcal], (13)

în care

$$E'_{aer} = G_a\, c_{va}\, T_a \text{ [kcal]}, \quad (14)$$

$G_a = \gamma_a V$ este cantitatea de aer conţinut în anvelopă [kgf] ;
$c_{va}$ — căldura specifică la volum constant a aerului [kcal/kgf.grd] ;
$T_a$ — temperatura medie a aerului din anvelopă, înainte de accident [°K] ;

$$\gamma_a = 1{,}29 \text{ kgf/Nm}^3 ;$$

$V$ — volumul ocupat de aer în anvelopă (volumul liber) [m³]

$$E'_{apă_i} = u'_1 \cdot G_i \text{ [kcal]} \quad (15)$$

$$u'_1 = i'_1 - Ap_1 v'_1 \text{ [kcal/kgf]} \quad (16)$$

este energia internă a apei (16) din circuitul primar la starea iniţială ($i'_1$ [kcal/kgf] — entalpia medie, $p_1$[kgf/cm²]— presiunea nominală, $v'_1$ [m³/kgf] — volumul specific, $G_i$ [kgf] — cantitatea ieşită la momentul $\tau_i$, $i = 1,2,\ldots,p$).

Energia finală în care se regăseşte valoarea celei iniţiale este alcătuită din energia constituenţilor finali : aer din anvelopă, apă la saturaţie şi abur la saturaţie.

$$E_{fin\,i} = E''_{aer\,i} + E''_{apă\,i} + E''_{abur\,i} \text{ [kcal]} \quad (17)$$

în care

$$E''_{aer i} = G_a\, c_{va}\, T_i \text{ [kcal]} ; \quad (18)$$

în care

$T_i$ este temperatura amestecului produs după accident [°K] ;

$$E''_{apă i} = (1 - x_i)\, G_i\, u' \text{ [kcal]} \quad (19)$$

în care

$x$ este titlul aburului la timpul $\tau_i$ ;

$u'$ — energia internă a apei la saturaţie, [kcal/kgf] ;

$$E''_{abur i} = x_i\, G_i\, u'' \text{ [kcal]}, \quad (20)$$

în care $u''$ este energia internă a aburului la saturaţie [kcal/kgf].

Valoarea titlului $x$ se poate deduce dacă se scrie o ecuaţie de echilibru a volumelor.

$$V = x_i\, G_i\, v'' + (1 - x_i)\, G_i v'$$

$$x_i = \frac{\dfrac{V}{G_i} - v'}{v'' - v'} \quad (21)$$

în care $v'$, $v''$ [m³/kgf] reprezintă volumele specifice ale apei, respectiv aburului la saturaţie.

Egalînd $E_{in_i} = E_{fin_i} = E_i$ pentru momentul $\tau_i$, se obţine

$$(i'_1 - Ap_1\, v'_1)\, G_i + \gamma_a\, V_a\, c_{va}\, T_a = G_a\, c_{va}\, T_i + $$
$$+ (1 - x_i)\, G_i u' + x_i\, G_i\, u'' \quad (22)$$

În această ecuaţie se observă că necunoscuta $T_i$ [°K] (temperatura de echilibru la momentul $\tau_i$) se află atît explicită, dar şi sub formă implicită, întrucît volumele specifice şi energiile interne sînt dependente de ea. Ecuaţia poate fi rezolvată prin încercări (manual sau pe calculator). Pentru simplificarea calculelor dar cu riscul unei pierderi de precizie, R.B.Galli şi B.G. Lord (Suisselectra, Basel, Elveţia) propun o nomogramă de calcul al temperaturii de echilibru. Această nomogramă este reprodusă în figura 7, metoda de lucru fiind următoarea :

— se unesc între ele cu o linie dreaptă punctele corespunzătoare valorilor :

$$\frac{G_a}{G_i} \text{ și } \frac{V}{G_i} \text{ [m}^3\text{/kgf]};$$

Presiunea parțială a aerului se poate determina din legea gazelor perfecte :

$$p_{a_i} = \frac{G_a R T_i}{V}.$$

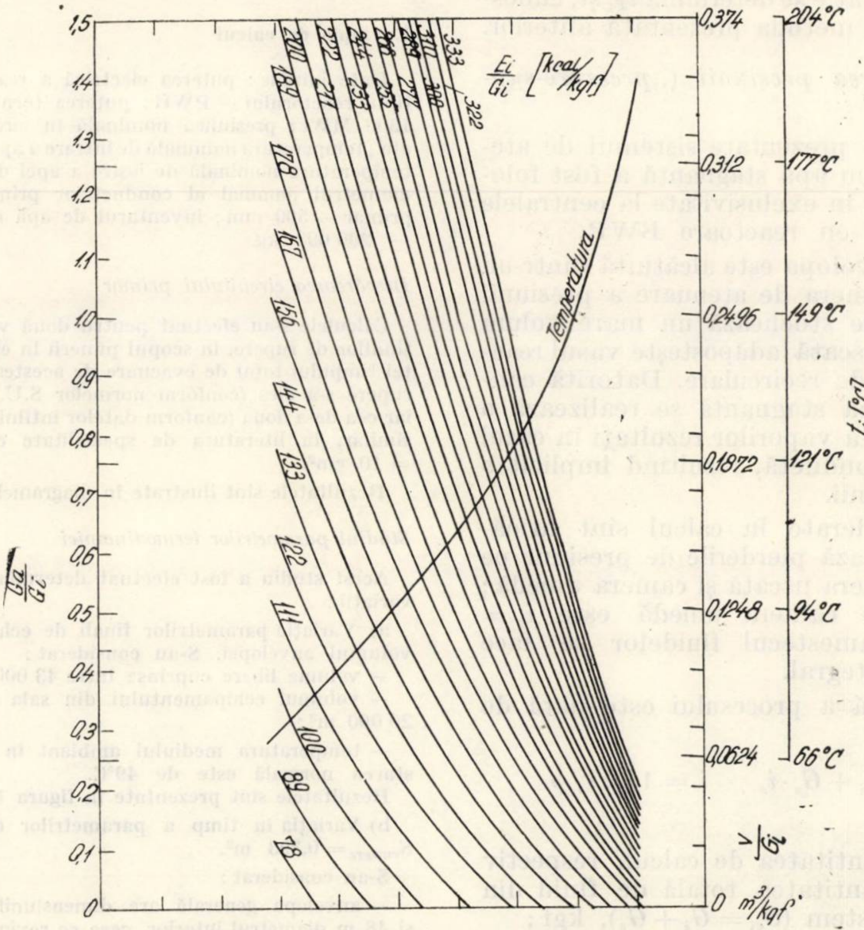


Fig. 7. Nomograma pentru calculul temperaturii de echilibru.

— se intersectează această linie cu curba corespunzătoare valorii

$$\frac{E_i}{G_i} \text{ [kcal/kgf]};$$

— din punctul de intersecție astfel obținut se ridică o verticală pînă la curba temperaturii și de aici o orizontală către scara temperaturii, pe care se citește direct valoarea $T_i$ (°C).

Autorii indică o precizie a nomogramei de ±2°F.

Odată calculată temperatura de echilibru, se poate calcula și presiunea de echilibru, care este compusă din presiunea parțială a vaporilor și din presiunea parțială a aerului.

Presiunea parțială a vaporilor este presiunea de saturație $p_{v_i}$, corespunzătoare temperaturii $T_i$.

Presiunea totală :

$$p_{ech_i} = p_{v_i} + p_{a_i} \text{ [ata]}. \quad (23)$$

— Cu pulverizare

Introducerea unei cantități de apă rece în bilanțul termic are un rol de reducere a valorilor parametrilor termodinamicii atinși după accident. Debitul de pulverizare se alege în funcție de evoluția în timp a parametrilor, deci de mărimea secțiunii de rupere pentru un circuit primar dat.

Presupunînd că apa de pulverizare are o entalpie $i_p = 25$ kcal/kgf și că amestecul ei cu fluidele eșapate din circuit se face instantaneu și integral, bilanțul termic la timpul $\tau_i$ este :

$$G_i\, i_i + G_{pi}\, i_p = G_{Ti}\, i_{Ti}$$

în care

$i_i$ este entalpia de ieşire, kcal/kgf;

$G_{v_i}$ — cantitatea de apă pulverizată, kgf.

Indicele $T$ se referă la amestecul format. Din această ecuaţie se determină $i_{Ti}$ şi, cunoscînd $G_{Ti}$, se aplică metoda prezentată anterior.

*Sistem cu atenuarea presiunii („pressure-suppression")*

Dintre sistemele prezentate sistemul de atenuare a presiunii cu apă stagnantă a fost folosit pînă în prezent în exclusivitate la centralele nucleare echipate cu reactoare BWR.

În acest caz, anvelopa este alcătuită dintr-un spaţiu uscat şi camera de atenuare a presiunii (spaţiu umed) care stochează un mare volum de apă. Camera uscată adăposteşte vasul reactorului şi buclele de recirculare. Datorită cantităţii mari de apă stagnantă se realizează o condensare rapidă a vaporilor rezultaţi în cazul unei rupturi de conductă, rezultînd implicit o atenuare a presiunii.

Ipotezele considerate în calcul sînt următoarele: se neglijează pierderile de presiune pe traseul dintre camera uscată şi camera umedă; entalpia apei din camera umedă este $i_s = 35$ kcal/kgf; amestecul fluidelor se face instantaneu şi integral.

Ecuaţia de bază a procesului este dată de bilanţul termic:

$$G_{ci}\, i_c = G_i \cdot i_i + G_s \cdot i_s \qquad i = 1, \ldots, p$$

în care

$G_{ci}$ este cantitatea de calcul, respectiv cantitatea totală de fluid din sistem ($G_{ci} = G_i + G_s$), kgf;

$G_i$ — cantitatea de fluid eşapată de circuitul primar, kgf;

$G_s$ — cantitatea de apă stagnantă, kgf;

$i_i$ — entalpia de ieşire a fluidului din circuitul primar, kcal/kgf;

$i_c$ — entalpia amestecului, kcal/kgf.

Din această ecuaţie se determină $i_c$ şi cunoscînd pe $G_{Ti}$ se aplică metoda anterioară.

**Exemple de calcul**

Date iniţiale: puterea electrică a reactorului 400 MWe; tipul reactorului — PWR; puterea termică a reactorului — 1300 MWt; presiunea nominală în circuitul primar — 125 ata; temperatura nominală de intrare a apei în reactor — 270°C; temperatura nominală de ieşire a apei din reactor — 300°C; diametrul nominal al conductelor principale din circuitul primar — 500 mm; inventarul de apă din circuitul primar — 200 000 kg.

*Descărcarea circuitului primar*

Calculele s-au efectuat pentru două valori ale ariilor secţiunilor de rupere, în scopul punerii în evidenţă a dependenţei timpului total de evacuare de acestea. Prima secţiune de rupere s-a ales (conform normelor S.U.A.), $S_a = 0{,}393$ m², iar cea de-a doua (conform datelor întîlnite pentru un reactor similar, în literatura de specialitate est-europeană), $S_b = 10$ cm².

Rezultatele sînt ilustrate în diagramele din figurile 8—11.

*Studiul parametrilor termodinamici*

Acest studiu a fost efectuat determinîndu-se următoarele variaţii:

a) Variaţia parametrilor finali de echilibru în funcţie de volumul anvelopei. S-au considerat:

— volume libere cuprinse între 43 000 şi 75 000 m³;

— volumul echipamentului din sala reactorului este de 20 000 m³;

— temperatura mediului ambiant în sala reactorului la starea normală este de 49°C.

Rezultatele sînt prezentate în figura 12.

b) Variaţia în timp a parametrilor de echilibru pentru $S_{rupere} = 0{,}393$ m².

S-au considerat:

— anvelopa generală are dimensiunile 40 m înălţime şi 48 m diametrul interior, ceea ce revine la un volum liber de 52 400 m³;

— cantităţile de apă eşapate sînt cele care rezultă din diagrama din figura 10;

— debitele de pulverizare alese sînt $D_{pulv} = 0$; 1000; 2000 kg/s.

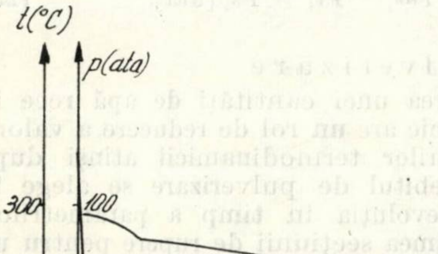



Fig. 8. Scăderea în timp a parametrilor circuitului primar. $S_{rupere} = 0{,}393$ m².

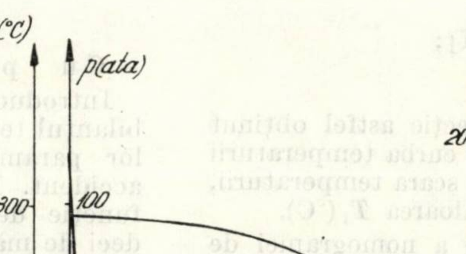



Fig. 9. Scăderea în timp a parametrilor circuitului primar. $S_{rupere} = 10$ cm².

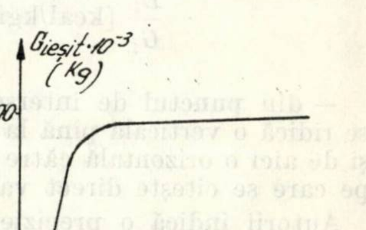



Fig. 10. Golirea circuitului primar în timp. $S_{rupere} = 0{,}393$ m².

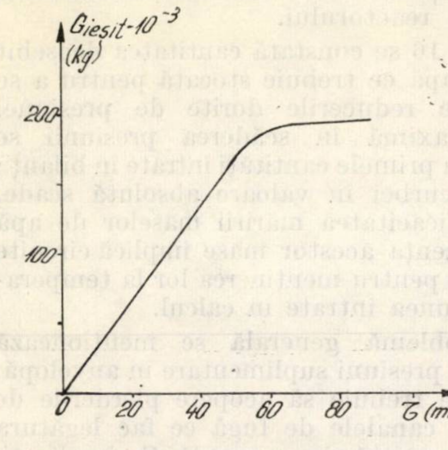



Fig. 11. Golirea circuitului primar în timp $S_{rupere} = 10\ cm^2$.

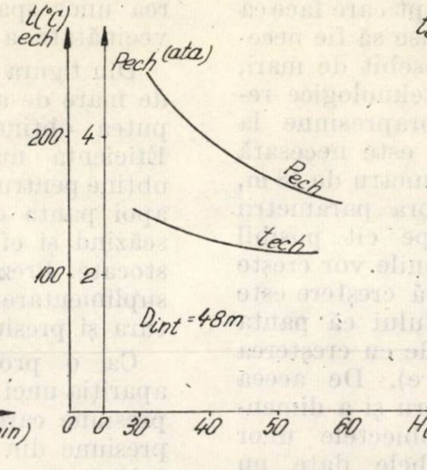



Fig. 12. Variaţia presiunii şi temperaturii la echilibru în funcţie de înălţimea anvelopei generale.

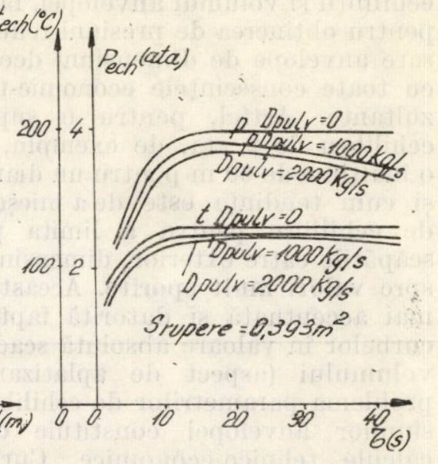
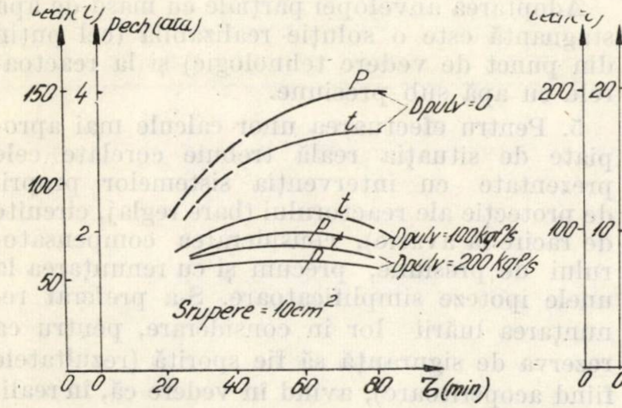
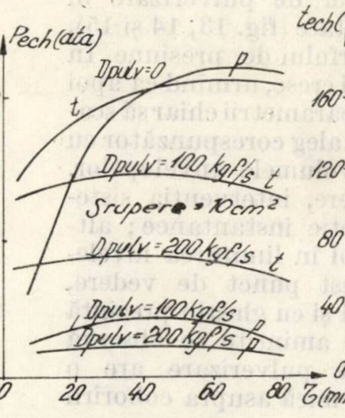



Fig. 13. Variaţia presiunii şi temperaturii în anvelopa generală, cu şi fără pulverizare de apă.



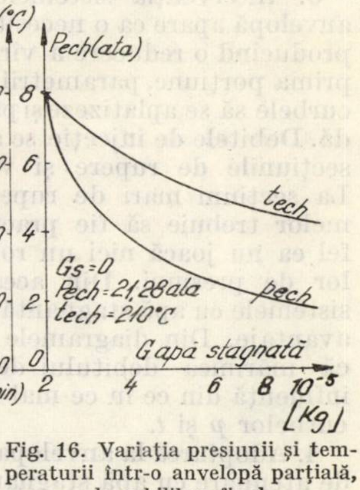




Fig. 14. Variaţia presiunii şi temperaturii în anvelopa generală, cu şi fără pulverizare de apă.

Fig. 15. Variaţia presiunii şi temperaturii într-o anvelopă parţială, cu şi fără pulverizare de apă.

Fig. 16. Variaţia presiunii şi temperaturii într-o anvelopă parţială, la echilibru final.

În figurile 13 şi 14 sînt ilustrate rezultatele obţinute pentru secţiunile de rupere $S_a$ şi $S_b$. De asemenea, în figura 15 sînt trasate variaţiile parametrilor într-o anvelopă parţială cu volumul liber de circa 3000 m³.

c) Sistem cu atenuarea presiunii

Acest sistem s-a considerat aplicat la un reactor de tip PWR, protejat de o anvelopă parţială cu un volum liber de circa 3000 m³.

Fiind folosit sistemul de barbotare în mase de apă stagnantă, s-au studiat variaţiile presiunii şi temperaturii la echilibru final, în funcţie de masele de apă depozitate (200—800 t).

Rezultatul este trasat sub formă de curbă în figura 16.

## Concluzii

1. În urma analizei diagramelor prezentate, se remarcă influenţa deosebit de importantă pe care o are mărimea secţiunii de rupere considerate asupra descărcării în timp a circuitului primar. Se constată că pentru secţiunea normată în Occident, atingerea presiunii de saturaţie se face practic instantaneu (0,14 s), întregul debit eşapînd în circa 45 s. Pentru secţiune mică de rupere, intervalele de timp cresc simţitor, ajungîndu-se la punctul de saturaţie după 32 s; după circa 80 min se termină evacuarea agentului din circuit. Această din urmă situaţie este deosebit de favorabilă, întrucît scăderea lentă a presiunii face ca în anvelopa de protecţie creşterea în timp a parametrilor să fie corespunzător lentă şi deci răspunsul instalaţiilor de protecţie să fie mai puţin pretenţios.

Secţiunea mică de rupere nu dă însă o soluţie acoperitoare şi, cum în tehnica nucleară este o necesitate de a considera probabilităţi mari la riscul nuclear — date fiind consecinţele cu totul speciale ce apar în cazuri de accident—, se propune ca în calcule să se pornească de la ipoteza unei secţiuni de rupere mari.

La alegerea ariei secţiunii este recomandabil a se considera valoarea maximă, aceasta rezultînd din dublul secţiunii transversale a conductei care se rupe.

2. Din figura 12 se remarcă dependenţa invers proporţională între parametrii finali de

echilibru și volumul anvelopei, fapt care face ca pentru obținerea de presiuni reduse să fie necesare anvelope de dimensiuni deosebit de mari, cu toate consecințele economic-tehnologice rezultante. Astfel, pentru o suprapresiune la echilibru de 2 ata, de exemplu, este necesară o înălțime de 60 m pentru un diametru de 48 m, și cum tendința este de a micșora parametrii de echilibru pentru a limita pe cît posibil scăpările către exterior, dimensiunile vor crește spre valori mult sporite. Această creștere este mai accentuată și datorită faptului că panta curbelor în valoare absolută scade cu creșterea volumului (aspect de aplatizare). De aceea problema parametrilor de echilibru și a dimensiunilor anvelopei constituie obiectele unor calcule tehnico-economice. Curbele date nu iau în considerare eventualele unde de șoc ce s-ar produce în ipoteza amestecului neinstantaneu între aburul eșapat și aerul din anvelopă.

3. Intervenția sistemelor de pulverizare în anvelopă apare ca o necesitate (fig. 13, 14 și 15), producînd o reducere a vîrfului de presiune. În prima porțiune, parametrii cresc, urmînd ca apoi curbele să se aplatizeze și parametrii chiar să scadă. Debitele de injecție se aleg corespunzător cu secțiunile de rupere și volumele anvelopelor. La secțiuni mari de rupere, intervenția sistemelor trebuie să fie practic instantanee; altfel ea nu joacă nici un rol în limitarea nivelelor de presiuni. Din acest punct de vedere, sistemele cu apă stagnantă și cu gheață prezintă avantaje. Din diagramele amintite se observă că mărimea debitului de pulverizare are o influență din ce în ce mai mică asupra coborîrii curbelor $p$ și $t$.

4. Adoptarea la anvelopa parțială a sistemului de atenuare cu apă stagnantă reclamă amplasarea unor spații deosebit de mari în imediata vecinătate a reactorului.

Din figura 16 se constată cantitatea deosebit de mare de apă ce trebuie stocată pentru a se putea obține reducerile dorite de presiune. Eficiența maximă în scăderea presiunii se obține pentru primele cantități intrate în bilanț; apoi panta curbei în valoare absolută scade, scăzînd și eficacitatea măririi maselor de apă stocate. Prezența acestor mase implică circuite suplimentare pentru menținerea lor la temperatura și presiunea intrate în calcul.

Ca o problemă generală se menționează apariția unei presiuni suplimentare în anvelopă, presiune care trebuie să acopere pierderile de presiune din canalele de fugă ce fac legătura între camera uscată și cea umedă. Ca implicații directe ale acestui fapt, se menționează necesitatea luării în considerare a unor coeficienți de siguranță suplimentari.

Adoptarea anvelopei parțiale cu masă de apă stagnantă este o soluție realizabilă (cel puțin din punct de vedere tehnologic) și la reactoarele cu apă sub presiune.

5. Pentru efectuarea unor calcule mai apropiate de situația reală trebuie corelate cele prezentate cu intervenția sistemelor proprii de protecție ale reactorului (bare reglaj, circuite de răcire la avarie), considerarea compensatorului de presiune, precum și cu renunțarea la unele ipoteze simplificatoare. S-a preferat renunțarea luării lor în considerare, pentru ca rezerva de siguranță să fie sporită (rezultatele fiind acoperitoare), avînd în vedere că, în realitate, timpii de descărcare sînt mai mari.

**(Articol intrat în redacție la 3 aprilie 1971)**

# Metodă de introducere statistică a frecvenței supratensiunilor de comutație în coordonarea izolației stațiilor electrice

**Dr. ing. D. Mark***)

## 1. Generalități

Coordonarea izolației unei rețele se reduce în definitiv la alegerea unei soluții de compromis din punctul de vedere al izolației rețelei, care să asigure o funcționare acceptabilă a acesteia la solicitările normale și accidentale ce apar în exploatare, la un cost cît mai mic al instalației. O coordonare corectă a izolației este deci o problemă de optimizare, care ține seamă de investiția inițială și de cheltuielile de exploatare posibile, legate atît de factori constanți cît și de factori aleatorii.

În lucrarea [1] s-a analizat alegerea nivelurilor de izolare a liniilor de foarte înaltă tensiune, utilizînd metode statistico-probabilistice, precum și influența pe care o au diferitele elemente ale schemei asupra nivelului de izolație a liniei.

Întrucît tendința modernă, în alegerea nivelurilor de izolație, este scăderea acestora sub nivelul supratensiunilor interne, utilizînd aparate de protecție care să limiteze supratensiunile la anumite valori-limită nepericuloase pentru izolație, este important să se aprecieze atît amplitudinea diverselor tipuri de supratensiuni interne, cît și frecvența apariției acestora.

Cunoscînd, pe bază de calcul, nivelul supratensiunilor de comutație, nu se vor putea trage concluzii asupra frecvenței lor. Din această

*) Dănilă Mark este inginer principal proiectant I la I.S.P.E.

cauză, pentru o apreciere corectă trebuie să se cunoască distribuţia amplitudinilor acestor supratensiuni pe bază statistică şi frecvenţa probabilă de apariţie a lor.

La prima vedere s-ar părea că amplitudinea este determinantă, deoarece o supratensiune a cărei amplitudine depăşeşte nivelul de ţinere al izolaţiei duce cu certitudine la conturnarea acesteia, dacă nu s-au instalat mijloace de protecţie adecvate pe linia sau în staţia respectivă. Mijloacele de protecţie actuale permit limitarea unei părţi a supratensiunilor interne pînă la valori de ordinul 1,8—2,2 $U_f$, în reţele de foarte înaltă tensiune, şi de 2,2—3 $U_f$, în reţele de înaltă tensiune [2], [3]. Existenţa, însă, în schemă a descărcătoarelor cu suflaj magnetic, folosite pentru limitarea supratensiunilor, poate duce la un număr sporit de declanşări, datorită defectelor în descărcătoare. Într-un studiu de fiabilitate a reţelei, frecvenţa de defectare şi frecvenţa reviziilor descărcătoarelor intervin cu o pondere apreciabilă, în special în cazul montării descărcătoarelor pe intrările liniilor, unde sînt solicitate mai frecvent decît pe barele staţiei, respectiv la bornele transformatoarelor sau ale autotransformatoarelor.

Pentru aprecierea supratensiunilor interne din punctul de vedere al frecvenţei acestora, este necesară inventarierea pe cauze a apariţiei supratensiunilor interne de diverse tipuri ce pot apărea în reţea.

În articolul de faţă se vor face referiri globale doar la două situaţii care duc la apariţia supratensiunilor în reţelele electrice, încercîndu-se să se dea o metodologie de înregistrare a frecvenţei în vederea stabilirii speranţei matematice de apariţie a fiecărei categorii, care să permită trasarea funcţiilor de distribuţie a supratensiunilor în reţelele sistemului.

Supratensiuni interne apar la orice variaţie bruscă a stării sistemului care duce la modificarea valorilor impedanţei reţelei într-un punct dat.

În exploatarea unei reţele, variaţii bruşte ale situaţiei din reţea pot apărea în principal în două cazuri :

— la comutaţie planificată ;
— la declanşări de defecte.

Din grupa comutaţiilor planificate fac parte scoaterea şi repunerea în circuit a unui element de reţea în scopul efectuării reviziilor curente şi capitale, precum şi repunerile sub tensiune a circuitelor după declanşări de avarie.

Din grupa declanşărilor de defect fac parte toate declanşările de circuite acţionate de protecţia prin relee a acestora.

În cazul liniilor electrice aeriene echipate cu dispozitive de reanclanşare automată rapidă, trebuie să se ia în considerare elementul ca declanşare la defect, chiar dacă RAR a funcţionat corect şi a repus linia sub tensiune, fără ca consumatorii să fi avut de suferit.

Pentru a putea folosi datele primare la determinarea speranţei matematice a numărului de comutaţii, trebuie să se facă o grupare adecvată a elementelor urmărite, alese în aşa fel, încît datele culese să cuprindă un număr suficient de elemente urmărite pe o perioadă lungă de timp.

În sistemul energetic naţional al R.S.R. se consideră necesar să se urmărească statistic reţelele de 110, de 220 şi de 400 kV. Reţelele de medie tensiune, deşi reprezintă o pondere mare, nu prezintă interes din punctul de vedere al studiului supratensiunilor interne.

Deoarece comutaţiile au loc în staţii, urmărirea trebuie să se facă direct în fiecare staţie, separat pe tipuri de circuite şi pe tipuri de comutaţii.

Gruparea care trebuie urmărită distinct este următoarea :

— linii (cu simplu sau cu dublu circuit, de interconexiune sau radiale, echipate sau neechipate cu RAR) ;
— transformatoare şi autotransformatoare.

Deoarece în sistemul energetic sînt rare cazurile de bloc linie-transformator, nu se consideră utilă ţinerea separată a evidenţei acestei categorii.

Categoriile de manevre şi de comutaţii care trebuie înregistrate sînt următoarele :

— manevre planificate de scoatere sau de repunere sub tensiune a liniilor, respectiv a transformatoarelor şi a autotransformatoarelor ;
— manevre cerute operativ de dispecer ;
— declanşări de linii pe defect (în cazul declanşărilor cu RAR reuşit trebuie să se considere două comutaţii) ;
— declanşări pe circuitele transformatoarelor sau autotransformatoarelor. În cazul transformatoarelor şi al autotransformatoarelor se disting două categorii de declanşări :

a) declanşări datorate defectelor în transformatoare şi autotransformatoare ;
b) declanşări ale acestora datorită defectelor pe circuitul transformator-bară sau datorită defectelor pe sistemul de bare pe care sînt racordate.

Printre elementele care influenţează numărul de comutaţii planificate trebuie menţionată calitatea întreruptoarelor, care poate fi determinantă în numărul total de comutaţii planificate. Întreruptoarele care prin construcţie necesită revizii mai dese după declanşări pe scurtcircuit vor avea un număr mai mare de acţionări planificate decît întreruptoarele de calitate superioară, al căror ciclu între două revizii este mai mare.

O pondere mare o are, de asemenea, poluarea izolaţiei ; aceasta trebuie curăţită periodic, cu o frecvenţă mai mare, în funcţie de tipul

izolaţiei externe din staţie (sau linie), de intensitatea poluării şi de mijloacele de combatere aplicate. Reducerea numărului de comutaţii de acest tip se poate obţine prin spălarea izolaţiei sub tensiune.

În legătură cu comutaţiile planificate, se constată că, în majoritatea cazurilor, printr-o pregătire corespunzătoare a manevrei, supratensiunile de comutaţie de acest tip sînt mai mici decît cele care au loc la declanşări de avarie.

Comutaţiile care au loc din dispoziţia dispecerului, pentru asigurarea alimentării consumatorilor, ţin seamă de curba de sarcină pe sistem. Dacă graficul de sarcină are variaţii mari în timpul zilei (vîrf şi goluri accentuate), vor fi necesare mai multe manevre în sistem, cu scoaterea din funcţiune a centralelor de vîrf după trecerea maximului.

În funcţie de tipul rezervei din sistem (turnată sau nu), numărul de manevre pentru satisfacerea consumului poate fi diferit.

În prezent nu se ţine o statistică centralizată a manevrelor planificate, centralizate pe tensiuni, staţii şi tipuri de întreruptoare.

Dotarea M.E.E. cu un calculator IRIS-50 va permite o evidenţă a acestor tipuri de manevre cu calcule, pe perioade, ale mediilor, pentru aprecierea corectă a influenţelor manevrelor şi a calităţii echipamentului.

O trecere în revistă a staţiilor de înaltă şi de foarte înaltă tensiune permite o apreciere a numărului de manevre planificate, pe baza evidenţei numărului de incidente care se înregistrează.

În staţiile de 110 kV din sistem sînt montate următoarele tipuri principale de întreruptoare :

— cu ulei puţin, tip VZL-110 şi IUP-110 ;

— cu aer comprimat, tip VVN şi VN-110 ;

— cu ulei puţin, tip IO-110,

precum şi cîteva tipuri de întreruptoare cu aer comprimat BBC şi Sacksenwerk etc. Majoritatea întreruptoarelor cu ulei mult de tipul IUM au fost casate.

În staţiile de 220 kV sînt montate întreruptoare IO-220, cîteva întreruptoare VVN şi VN-220 şi întreruptoare cu aer comprimat Merlin Gerin.

Din aceste tipuri, întreruptoarele IUP-110 (în special cele din prima serie, cu puterea de rupere garantată de 1300 MVA) au avut o comportare slabă în exploatare. Încercări efectuate cu aceste tipuri de întreruptoare au arătat că ele dau reaprinderi la întreruperi de linii în gol, au timpi de deschidere nesincronă a fazelor cu valori destul de mari şi nu sînt garantate la închidere în opoziţie de fază. În acelaşi timp, în exploatare s-a constatat o înrăutăţire a izolaţiei tijei de acţionare a acestora, ceea ce a condus la necesitatea revizuirii mai dese a întreruptoarelor. De asemenea, întreruptoarele VVN şi VN au provocat dificultăţi în exploatare, mai ales datorită distrugerii rezistenţelor legate în paralel cu camerele de stingere, în timpul întreruperii liniilor în gol (în cazul liniilor de 400 kV exploatate la tensiunea de 220 kV).

Întreruptoarele IO-110 şi 220 kV au pînă în prezent o comportare bună. Este adevărat însă că numărul de întreruptoare din această serie (inclusiv cele de fabricaţie Delle) este încă mic şi în majoritatea staţiilor unde s-au instalat puterea de scurtcircuit este încă departe de puterea de rupere a întreruptoarelor (6000 MVA la 110 kV, respectiv 12 000 MVA la 220 kV).

### 2. Calculul speranţei matematice a manevrelor planificate

În privinţa manevrelor planificate, se pot face următoarele calcule care concordă cu experienţa :

— fiecare bloc generator-transformator este oprit şi repornit cel puţin o dată pe an pentru reparaţii curente şi o dată pentru revizie ;

— fiecare bloc generator-transformator mai este oprit cel puţin de două ori datorită unor defecţiuni pe partea termomecanică, fără a fi declanşat prin protecţie şi cu acordul dispecerului ;

— fiecare bloc generator-transformator care lucrează în regim de vîrf are zilnic una pînă la două manevre planificate (pornire-oprire) ;

— fiecare linie de interconexiune este declanşată cel puţin o dată pe an pentru revizii curente ;

— fiecare linie din zone cu keraunicitate medie, de 30 de zile de furtună pe an, este declanşată pentru revizia întreruptoarelor cel puţin o dată pe sezon ;

— pentru diverse revizii de echipament, înlocuiri de izolatoare pe linie, curăţirea sau ungerea izolaţiei cu unsori împotriva depunerilor, se mai efectuează patru pînă la opt manevre planificate pe linie şi pe an.

O evidenţă care să permită generalizarea, respectiv determinarea speranţei matematice şi a dispersiei acesteia, trebuie să cuprindă, pe tensiuni, manevrele planificate într-un an pe tip de celulă (linie sau transformator), cu gruparea pe număr de manevre efectuate la fiecare.

Pentru aprecierea caracterului funcţiilor de distribuţie s-au cules materiale în diverse ţări şi s-au prezentat în cadrul CIGRE şi al altor consfătuiri [4], [5], [8], [9], [10], [11], [13], [14]. Materiale recente [13] prezintă date culese timp de opt ani asupra manevrelor din şapte sisteme energetice din partea europeană a U.R.S.S. pentru linii şi transformatoare de 110, de 220, de 330 şi de 500 kV. În tabelele 1 şi 2 se prezintă datele referitoare la numărul de manevre planificate pe liniile de 110 — 500 kV, defalcate pe intervale de comutaţii, şi numărul de linii urmărite pe tensiuni şi lungimi [13]

*Tabelul 1*

| Tensiunea nominală, kV | Numărul liniilor | Lungimea, km |
|---|---|---|
| 110 | 40 | 60–200 |
| 220 | 38 | 100–370 |
| 330 | 10 | 100–300 |
| 500 | 18 | 180–415 |

de manevre planificate poate fi luat 15, cu o dispersie-standard de 38%, iar pentru linii de 330–500 kV se obţin în medie zece comutaţii planificate cu o dispersie de 37%.

Aceste valori concordă bine cu datele obţinute în S.U.A. [14] şi cu cifrele publicate în [15].

Funcţia de distribuţie este o funcţie normală gaussiană.

*Tabelul 2*

| Tensiunea nominală, kV | Volumul informaţiilor, linii-an | Număr de comutaţii planificate pe linie-an în intervalul | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1–3 | 3–5 | 5–7 | 7–9 | 9–11 | 11–13 | 13–15 | 15–17 | 17–19 | 19–21 | 21–23 | 23–25 | 25–27 | 27–29 | 29–31 | 31–33 |
| 110 | 240 | 3 | 7 | 11 | 20 | 25 | 30 | 34 | 34 | 25 | 20 | 15 | 9 | 5 | 2 | — | — |
| 220 | 238 | 4 | 6 | 12 | 18 | 24 | 28 | 30 | 30 | 27 | 23 | 16 | 10 | 5 | 3 | 2 | — |
| 330 | 37 | 1 | 2 | 3 | 6 | 11 | 7 | 3 | 2 | 1 | 1 | — | — | — | — | — | — |
| 500 | 140 | 2 | 8 | 12 | 26 | 40 | 27 | 11 | 7 | 5 | 2 | — | — | — | — | — | — |

După cum se constată, numărul minim de comutaţii planificate a fost 1 (o linie de 330 kV), iar numărul maxim a fost 31 (două linii de 220 kV). Majoritatea liniilor au avut comutaţii planificate cuprinse între 10 şi 20 pe an, maximul de linii (34) avînd circa 15 comutaţii. Se constată o scădere a numărului de manevre planificate pe măsura creşterii tensiunii reţelei. Volumul total al informaţiilor reprezintă 655 linii-an.

Prelucrarea matematică a acestor date permite determinarea speranţei matematice a numărului de comutaţii şi dispersia respectivă. Valorile rezultate sînt date în tabelul 3.

Din aceste calcule se constată că pentru linii de 110–220 kV numărul mediu anual

*Tabelul 3*

| Tensiunea nominală, kV | Parametrii distribuţiei anuale a numărului de comutaţii planificate | | |
|---|---|---|---|
| | Speranţa matematică $\overline{n}_{pl}$ | Deviaţia medie pătratică $\sigma$ | Dispersia $\sigma/\overline{n}_{pl} \cdot 100\%$ |
| 110 | 14,3 | 5,45 | 38 |
| 220 | 14,8 | 5,7 | 38 |
| 330 | 10,4 | 3,8 | 37 |
| 500 | 10 | 3,6 | 36 |

Analizînd datele culese pentru manevre cu transformatoare (cuprinse în tabelele 4 şi 5), se constată că numărul de manevre cu transformatoare este mai mic decît cel cu linii, oscilînd între 0 manevre, la un transformator de 110 şi de 500 kV, şi 15 manevre, la un transformator de 110 kV [13].

*Tabelul 4*

| Tensiunea, kV | Numărul transformatoarelor urmărite | Puterea, MVA |
|---|---|---|
| 110 | 154 | 7,5–240 |
| 220 | 30 | 30–240 |
| 330 | 10 | 90–240 |
| 500 | 20 | 270–405 |

Majoritatea transformatoarelor au patru pînă la nouă comutaţii, numărul maxim înregistrîndu-se la şase comutaţii pe an, pentru 128 de transformatoare de 110 kV.

Prelucrarea matematică a datelor duce la rezultatele din tabelul 6.

Se constată că speranţa matematică a numărului de manevre planificate cu transformatoare este de aproximativ 6,3 pe an, indiferent

*Tabelul 5*

| Tensiunea nominală, kV | Volumul informaţiilor transformator-an | Număr de comutaţii planificate pe transformator-an în intervalul | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 110 | 630 | 1 | 4 | 24 | 46 | 60 | 82 | 128 | 107 | 65 | 55 | 26 | 18 | 6 | 5 | 2 | 1 | — |
| 220 | 154 | 0 | 2 | 6 | 11 | 22 | 21 | 26 | 21 | 11 | 10 | 8 | 7 | 6 | 2 | 1 | — | — |
| 330 | 39 | 0 | 1 | 2 | 3 | 5 | 5 | 7 | 5 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | — | — | — | — |
| 500 | 96 | 1 | 2 | 3 | 5 | 9 | 15 | 21 | 14 | 10 | 6 | 4 | 3 | 2 | 1 | — | — | — |

*Tabelul 6*

| Tensiunea nominală, kV | Parametrii distribuției anuale a numărului de comutații planificate | | |
|---|---|---|---|
| | Speranța matematică $\bar{n}_{pt}$ | Deviația medie pătratică, $\sigma_t$ | Dispersia $\sigma_t/\bar{n}_{pt} \cdot 100\%$ |
| 110 | 6,35 | 2,42 | 38 |
| 220 | 6,35 | 2,79 | 44 |
| 330 | 6,3 | 2,6 | 41 |
| 500 | 6,3 | 2,6 | 41 |

de tensiunea transformatoarelor, cu o dispersie de circa 40 %.

Aceste date pot sta la baza aprecierii frecvenței supratensiunilor interne în scopul coordonării izolației.

### 3. Calculul speranței matematice a manevrelor planificate

În privința declanșărilor de avarii, statistica de incidente care se ține de cîțiva ani în cadrul sistemului energetic al României poate furniza elemente comparabile cu cele din alte țări. Dificultatea constă în modul de înregistrare, care nu este totdeauna cel corespunzător scopului urmărit de noi. În acest scop este necesară o prelucrare a datelor, care pentru înregistrările trecute este greu de realizat. Pentru viitor modul de evidență necesar nu cere modificări esențiale, ci doar gruparea de la început a datelor în tabele similare celor întocmite pentru comutații planificate, respectiv pe tipuri de celule, însumînd separat avariile pe celule de linii, transformatoare, bloc-generator-transformator etc., precum și pe cauze externe sau ale echipamentului propriu din celulă.

După cum s-a arătat în [1], declanșările de avarii ale liniilor sînt funcție de lungimea liniei, de izolația liniei, de keraunicitatea zonei pe care o străbate linia, de valoarea prizelor de legare la pămînt ale stîlpilor și de unghiul de protecție al conductoarelor de protecție. Pentru a putea determina o funcție de distribuție a numărului de comutații datorită avariilor pe linie (inclusiv cele din celulele din stații ale liniilor), trebuie să se admită că acestea sînt realizate în conformitate cu normativele în vigoare, deci au unghiul de protecție al conductoarelor de protecție sub 30°, prizele de legare la pămînt de 5–30 ohmi și izolația corespunzătoare tensiunii de funcționare a liniei. În aceste condiții, calculînd, pentru un număr mediu de 20–30 zile-furtună pe an și 100 km, numărul de declanșări, se vor putea calcula funcțiile de distribuție necesare. De altfel, acest lucru corespunde situației rețelei.

În tabelul 7 sînt prezentate datele extrase din statistica de incidente a sistemului energetic [19] pe o durată de 90 de zile.

După cum s-a arătat, situația statistică actuală nu permite efectuarea calculelor funcțiilor de distribuție, deoarece la linii electrice aeriene evidența se ține pe lungimea liniilor aparținînd unei întreprinderi, repartiția incidentelor pe fiecare linie nefiind centralizată separat.

O situație similară se constată și în ceea ce privește evidența incidentelor din stații, unde se înregistrează global incidentele pe stații, indiferent de locul de defect și de numărul de celule al acesteia.

Evidența incidentelor din stații poate deforma situația reală din exploatare, prin faptul că un incident pe linie poate fi înregistrat simultan și ca incident în stație.

*Tabelul 7*

| Tensiunea nominală, kV | Volumul de informații km-trimestru, pentru linii sau bucăți – trimestru pentru stații | Număr total de incidente pe trimestru | Indice de incidente $i_l = \frac{\text{nr. incidente}}{\text{100 km și trimestru}}$ sau $i_s = \frac{\text{nr. incidente}}{\text{100 buc. celule și trimestru}}$ |
|---|---|---|---|
| | | linii | |
| 110 | 9 381 | 97 | 1,2 |
| 220 | 1 914 | 7 | 0,4 |
| 400 | 1 024 | — | — |
| | | stații | |
| 110 | 206 | 174 | 84,5 |
| 220 | 14 | 10 | 71,4 |
| 400 | 1 | — | — |

În tabelul 8 sînt prezentate datele pentru linii de 110–500 kV după [13].

Dacă nu se ia în considerare volumul de informații mult mai restrîns cuprins în tabelul 7, datele sînt destul de apropiate. (Indicele

*Tabelul 8*

| Tensiunea nominală, kV | Volumul de informații, linii – an | Declanșări de avarie pe 100 km linie – an cuprinse în intervalul | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0–0,5 | 0,5–1 | 1–1,5 | 1,5–2 | 2–2,5 | 2,5–3 | 3–3,5 | 3,5–4 | 4–4,5 | 4,5–5 | 5–5,5 | 5,5–6 |
| 110 | 212 | 18 | 48 | 71 | 50 | 12 | 10 | 3 | — | — | — | — | — |
| 220 | 216 | 23 | 40 | 88 | 25 | 16 | 13 | 8 | 3 | — | — | — | — |
| 330 | 37 | 5 | 7 | 13 | 7 | 4 | 1 | — | — | — | — | — | — |
| 500 | 140 | 18 | 19 | 18 | 18 | 12 | 12 | 10 | 12 | 11 | 10 | — | — |

specific pentru linii 110 kV este de 1,2, în tabelul 7, față de 1,32, cît rezultă din tabelul 8).

Prelucrarea matematică a datelor duce la rezultatele prezentate în tabelul 9.

*Tabelul 9*

| Tensiunea rețelei, kV | Parametrii distribuției numărului de avarii pe 100 km de linie | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Legea de distribuție | Speranța matematică $\bar{n}_{al}$ | Deviația medie pătratică $\sigma_{al}$ | Dispersia $\sigma_a/\bar{n}_a \cdot 100\%$ |
| 110 | gaussiană | 1,32 | 0,625 | 47,5 |
| 220 | gaussiană | 1,34 | 0,760 | 58 |
| 330 | gaussiană | 1,29 | 0,695 | 54 |
| 500 | uniformă în intervalul $0 \leqslant n_{al} \leqslant 5$ | 2,5 | 1,44 | 56 |

Datele pentru liniile de 500 kV nu sînt edificatoare și nu pot fi luate ca bază pentru sistemul nostru energetic, deoarece, logic, speranța matematică pentru linii cu tensiuni mai mari ar trebui să scadă. Statistica din U.R.S.S. se referă la majoritatea liniilor vechi de 500 kV proiectate inițial pentru 400 kV, pe care s-au înregistrat foarte des conturnări datorită dansului conductoarelor. De altfel, fenomene similare au avut loc și în S.U.A., unde pe primele linii de 300 kV s-au înregistrat declanșări mult mai mari (de 20 de ori) decît cele rezultate din calcul.

În privința declanșării de avarie a transformatoarelor, evidența statistică nu poate fi folosită decît pentru cazurile de deteriorări ale transformatoarelor propriu-zise. Indicații asupra declanșărilor circuitelor avînd transformatoare sau autotransformatoare, provocate de alte cauze decît defecte interne, nu se pot evidenția, deoarece incidentele nu sînt înregistrate pe tip de celulă, ci global pe stație.

În tabelul 10 sînt prezentate datele referitoare la deteriorările de transformatoare și autotransformatoare în sistemul nostru energetic timp de 90 de zile [19].

*Tabelul 10*

| Tensiunea nominală, kV | Volumul informației | Număr de transformatoare (autotransformatoare) deteriorate |
|---|---|---|
| 110 | Toate transformatoarele din sistem pe un trimestru | 8 (1) |
| 220 | | — |
| 400 | | — |

Situația declanșărilor tranformatoarelor datorită defectelor interne și externe pe o perioadă de 8 ani, pe baza datelor din literatura de specialitate [13], este prezentată în tabelul 11.

*Tabelul 11*

| Tensiunea nominală, kV | Volumul informațiilor, transformator-an | din care număr de declanșări de avarie anual | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0–1 | 1–2 | 2–3 | 3–4 | 4–5 | 5–6 |
| 110 | 630 | 423 | 160 | 30 | 15 | 2 | — |
| 220 | 154 | 115 | 26 | 11 | 2 | — | — |
| 330 | 39 | 28 | 8 | 2 | 1 | — | — |
| 500 | 96 | 69 | 15 | 7 | 4 | 1 | — |

Prelucrarea matematică a acestor cifre arată că funcția de distribuție a declanșărilor de avarii este exponențială, corespunzînd legii :

$$P_{(n_{at};\, n_{at_x})} = e^{-A n_{at}}$$

În tabelul 12 este calculat parametrul $A$ al curbei și numărul mediu anual de declanșări de avarie al transformatoarelor datorate defectelor interne și externe.

*Tabelul 12*

| Tensiunea nominală, kV | Parametrul A | Numărul mediu anual de declanșări de avarie datorită defectelor interne în transformatoare $\bar{n}_{at_1}$ și datorită defectelor externe $\bar{n}_{at_2}$ | |
|---|---|---|---|
| | | $\bar{n}_{at_1}$ | $\bar{n}_{at_2}$ |
| 110 | 1,23 | 0,035 | 0,385 |
| 220 | 1,21 | 0,029 | 0,321 |
| 330 | 1,22 | 0,035 | 0,365 |
| 500 | 1,15 | 0,04 | 0,410 |

Din tabel se observă că pentru $A$ se poate lua cu o precizie suficientă valoarea medie 1,2.

Raportul dintre numărul de declanșări datorate defectelor interne din transformatoare și externe este de 1/11, ceea ce confirmă experiența generală că transformatoarele sînt elemente sigure ale rețelei. Speranța matematică de declanșare de avarie datorită defectelor în transformator este $\bar{n}_{at_1} = 0{,}033$, ceea ce înseamnă un defect la 30 de ani, cîtă vreme datorită defectelor externe $n_{at_2} = 0{,}4$, adică la 2,5 ani este probabilă apariția unui defect cu declanșare a transformatorului.

Evidența numărului de declanșări ale elementelor din stații dă o informație prețioasă în stabilirea numărului de supratensiuni de comutație probabile pe element. În cazul declanșărilor, supratensiunile ce apar sînt diferite ca amplitudine după locul în care se produc, cauza care le poduce și condițiile în care are loc declanșarea.

## 4. Aprecierea amplitudinii supratensiunilor de comutaţie

Pînă în prezent s-a apreciat frecvenţa comutărilor. Amplitudinea supratensiunilor care apar la diferite tipuri de comutări este cunoscută din foarte multe lucrări [4], [5], [8], [9] etc., atît pe baza încercărilor pe viu sau experimentale cît şi pe baza unor înregistrări.

În sistemul nostru energetic, în ultimii ani au fost efectuate încercări pe viu pentru determinarea supratensiunilor (ca formă şi amplitudine) care apar la diverse comutaţii.

Încercările efectuate [20], precum şi studiile teoretice [12] au dus la o bună concordanţă a datelor cu cele obţinute în alte ţări, în condiţii similare.

În tabelul 13 sînt prezentate valori-limită ale amplitudinii supratensiunilor de comutaţie, extrase pe baza datelor publicate [2], [4].

*Tabelul 13*

**Supratensiuni decenale şi anuale obţinute pe baza înregistrărilor din diverse ţări**

| Tensiunea nominală, kV | Ţara | Volumul informaţiei, ani-staţie | Coeficientul $K$ de supratensiune: Pe linie, decenal | Pe linie, anual | Pe transformator, decenal | Pe transformator, anual | Pe bare, decenal | Pe bare, anual | Observaţii |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 110 | Germania | 6 | — | — | — | — | 2,8 | 2,5 | Supratensiuni interne şi atmosferice |
| 110 | Austria | 6 | — | — | 2,2 | 1,7 | — | — | |
| 115 | Canada | 8 | — | 4,5 | — | 4,2 | — | — | |
| 130 | Suedia | 106 | — | — | — | — | — | 2,9 | |
| 132 | Anglia | 6 | 2,35 | 2,05 | 2,65 | 2,3 | 1,9 | 1,7 | În general supratensiunile interne sînt mai mici decît cele atmosferice |
| 140 | Japonia | 3 | — | — | — | — | — | 3,34 | |
| 150 | Franţa | 40 | — | 3,7 | 3,8 | 3 | 3,8 | 3 | |
| 225 | Franţa | 70 | 4 | 3,5 | 4 | 3 | 4 | 3 | |
| 230 | Canada | 1 | — | 3,3 | — | — | — | — | |
| 380 | Franţa | 12 | — | 4 | — | 4 | 2,5 | 3 | |

Nivelul economic de izolaţie nu poate fi univoc determinat pentru orice tip de instalaţie. Dacă ne referim la izolaţia reţelelor de 100 kV supratensiunile de comutaţie înregistrate au amplitudini relative mai mari decît supratensiunile de comutaţie înregistrate în reţele moderne de 220—400 kV, la care s-au luat măsuri pe limitare a amplitudinii acestora. (Datele din tabelul 13 nu evidenţiază acest aspect, fiind întocmit pe baza unor date globale, în care sînt cuprinse majoritatea întreruptoarelor instalate, fără o separare a acelora prevăzute cu dispozitive de limitare a supratensiunilor interne).

Implicit, nivelul de izolaţie relativ determinat prin tensiunile de încercare trebuie să fie mai mare decît la reţelele de 220 şi de 400 kV.

Standardul de coordonare a izolaţiei [7] prevede pentru echipamentul de 110—220 şi de 400 kV tensiunile de încercare cuprinse în tabelul 14.

STAS 6489—67 este în concordanţă cu recomandările CEI pentru coordonarea izolaţiei [6]. Prevederile sale permit o alegere economică a izolaţiei după locul de montare a echipamentului şi tipul descărcătoarelor de protecţie, stabilind o gamă de trei sau patru valori ale tensiunii de încercare la 220 şi la 400 kV. Din aceste date nu rezultă o diferenţă apreciabilă între nivelurile de izolaţie admise pentru tensiunea nominală de 110 şi de 220 kV, dacă se ia în considerare treapta cea mai înaltă de izolaţie. Într-adevăr, în tabelul 15 sînt redate rapoartele dintre aceste tensiuni de încercare la impuls şi 50 Hz sub ploaie şi tensiunea maximă a reţelei, din care rezultă că, luînd valorile corespondente, se obţin tensiuni de încercare aproximativ proporţionale cu tensiunea reţelei.

*Tabelul 14*

| Nr. crt. | Tensiunea nominală a reţelei, kV | Tensiunea maximă de serviciu, kV | Tensiunea de încercare la impuls de 1,2/50μs izolaţie: plină | Tensiunea de încercare la impuls de 1,2/50μs izolaţie: redusă | Tensiunea de încercare la 50 Hz, kV, maximum 1 min izolaţie: plină | Tensiunea de încercare la 50 Hz, kV, maximum 1 min izolaţie: redusă |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 110 | 123 | 550 | 450 | 230 | 185 |
| 2 | 220 | 245 | 1 050 | 900 | 460 | 395 |
| | | | | 825 | | 380 |
| | | | | 750 | | 325 |
| 3 | 400 | 420 | — | 1 675 | | 740 |
| | | | | 1 550 | — | 680 |
| | | | | 1 425 | | 630 |
| | | | | 1 300 | | 570 |

*Tabelul 15*

| Tensiunea nominală, kV | Raportul $K_1 = \frac{U_{imp}}{\sqrt{2}\ U_{max.serv.}}$ | $K_2 = \frac{U\ 50\ Hz\ \text{sub ploaie}}{U_{max.serv.}}$ |
|---|---|---|
| 110 | 2,66 | 1,75 |
| 220 | 2,6 | 1,67 |

Aceasta se explică parţial prin faptul că reţelele de 220 kV în ţări cu energetică avansată au apărut încă în perioada în care nu s-a dezvoltat suficient construcţia întreruptoarelor moderne şi a descărcătoarelor şi nu era posibilă o limitare a supratensiunilor interne prin mij-

loace de protecţie. Implicit, izolaţia a fost dimensionată pe principiile vechi de coordonare a izolaţiei, care asigură ca prag nivelul supratensiunilor interne pentru nivelul de izolaţie. Evident, o astfel de coordonare a izolaţiei nu are o justificare economică.

Justificarea economică a nivelului de izolaţie în reţea trebuie să aibă la bază frecvenţa apariţiei supratensiunilor interne, amplitudinea acestora, mijloacele de protecţie împotriva supratensiunilor prevăzute şi pagubele pricinuite de întreruperi.

În lucrarea [1] s-au stabilit formulele de determinare a nivelului economic de izolaţie a liniilor, ţinînd seama de elemente statistice.

Aprecierea frecvenţei supratensiunilor de comutaţie şi a probabilităţilor ca aceasta să atingă amplitudinea maximă pe baza înregistrărilor statistice permite stabilirea unei relaţii simple de calcul tehnico-economic pentru alegerea nivelului de izolaţie al întregii reţele şi a aparatajului din staţie.

Datorită fabricaţiei de serie a aparatelor, nu este posibilă alegerea unor aparate cu niveluri de izolaţie diferită pentru diversele elemente de reţea (linie, transformator, cuplă). Nivelul aparatelor trebuie fixat în funcţie de supratensiunile care au o probabilitate maximă de apariţie ca frecvenţă şi amplitudine.

În ceea ce priveşte izolaţia transformatoarelor mari, se poate efectua un calcul individual pentru alegerea economică a nivelului de izolaţie în funcţie de condiţiile concrete de amplasare în reţea. Practica din S.U.A. şi Canada, la alegerea nivelurilor de izolaţie a unităţilor mari de transformatoare, este bazată pe verificarea tehnico-economică, ţinînd seama de ansamblul transformator (autotransformator) - descărcător de protecţie.

În încheiere se remarcă nivelul ridicat al tensiunilor de încercare adoptate pentru aparatajul de 110—220 kV asimilat în ţară (valorile adoptate corespund reţelelor cu neutrul nelegat efectiv la pămînt), care nu are justificare, ţinînd seama de amplitudinea maximă a supratensiunilor de comutaţie. Scăderea nivelurilor de izolaţie la treapta adoptată în majoritatea ţărilor (900 kV la impuls, în loc de 1 050 kV la tensiunea de 220 kV, respectiv 450 kV la impuls, în loc de 550 kV la tensiunea de 110 kV) poate contribui la o scădere a costului echipamentului, fără o creştere a numărului de incidente în instalaţii.

**Bibliografie**


[1] M a r k, D. *Utilizarea metodelor statistice în alegerea nivelului de izolaţie a liniilor de foarte înaltă tensiune.* Referat în cadrul planului de doctorantură prezentat la sesiunea jubiliară ,,20 de ani de la înfiinţarea Institutului de energetică al Academiei R.S.R.", 1969.

[2] M a r k, D. şi B ă l a n, G. *Coordonarea izolaţiei în sisteme electrice.* Editura tehnică, Bucureşti, 1968.

[3] M a r k, D., C r i s t o v i c i, A., P o p e s c u. A., A l d e a, D., P o p o v i c i, N. şi B e n s i m o n, A. *Aspecte ale coordonării izolaţiei şi criterii de alegere a descărcătoarelor pentru protecţia împotriva supratensiunilor a reţelelor de foarte înaltă tensiune din R.S.R.* Comunicare la Consfătuirea de supratensiuni şi coordonarea izolaţiei, Sinaia, 1968.

[4] M a r k, D. *Coordonarea nivelurilor de izolaţie în reţelele electrice de înaltă tensiune.* I.D.T., Bucureşti, 1964.

[5] R u s c k, S. *Rapport spécial du groupe 41* (Coordination des isolements). CIGRE, 1962.

[6] * * * CEI. Publication 71.

[7] * * * STAS 6489—67. *Coordonarea izolaţiei.*

[8] L a u r e n t, P. şi M o n n e t, M. *Rapport sur les mesures de surtensions de manoeuvre effectuées dans divers pays sur les réseaux à haute tension.* Anexa la rap. 410, CIGRE, 1962.

[9] G a n g e r, B. *Surtensions de manoeuvre admissibles et essais de tenue d'isolation.* În: Brown Boveri, *47*, nr. 4, 1960, p. 231—238.

[10] B a l t e n s p e r g e r, F. *Forme et grandeur des surtensions apparaissant lors de la coupure de faibles courants inductifs et capacitifs dans les réseaux à haute tension.* În: Brown Boveri, *47*, nr. 4, 1960, p. 195—224.

[11] B o c h u e, E. şi C a r r a r a, G. *Tenue de l'isolement des lignes et des postes à très haute tension aux surtensions de manoeuvre.* Rap. 415, CIGRE, 1964.

[12] D r ă g a n, G. şi C r i s t o v i c i, A. *Asupra metodelor de studiu al tensiunilor de origine internă.* Simpozionul de analiza şi sinteza reţelelor electrice. Bucureşti, 1967.

[13] K a t s o n, V. D., N i k i t i n, O. V., P o l e v o i, I. F. şı H a l i l o v, F.N. *Godovoe cislo komutaţii linii i transformatorov vîsşih klasov napreajeniia.* În: El. stanţii, nr. 10, 1970, p. 42—43.

[14] G e h r i g, I., G e n s, G. şi T u p p e r, E., *Application of New Concepts to 500 kV Systems Insulation Coordination.* În: App. and Syst., nr. 1, 1964, p. 41—48.

[15] A r t e m i e v, D. E., T i h o d e e v, N. N. şi S u r ,S.S. *Koordinaţiia izolaţii linii elektroperedaci.* Energhiia. Moscova, 1966.

[16] N i t u, V., A l b e r t, H. şi B r ă d e s c u, M. *Metode statistico-probabilistice utilizate în energetică.* Editura tehnică, Bucureşti, 1968.

[17] G n e d e n k o, B. V. şi H i n c i n, A. I. *Elementarnoe vvedenie v teoriu veroiatnostei.* Tehnikoteoreticeskoi literaturî, Moscova, 1952.

[18] F a u r e, R., K a u f m a n n, A. şi D e n i s - P a p i n, M. *Îndreptar de matematică modernă.* Editura ştiinţifică, Bucureşti, 1969.

[19] * * * *Studiul statistic privind incidentele de exploatare şi deteriorările de echipamente din sistemul energetic.* I.S.P.E., 1970.

[20] * * * *Lucrări tehnico-ştiinţifice.* I.R.M.E., 1970.


**(Articol intrat în redacţie la 22 octombrie 1971)**

# Tendințe actuale în construcția cablurilor de energie și a elementelor de îmbinare destinate rețelelor electrice în cablu

Ing. C. Cruceru*)

Tendințele actuale în construcția cablurilor de energie și a elementelor de îmbinare ale acestora sînt impuse de secțiunea, numărul de faze și condițiile tehnice caracteristice mediului ambiant în care funcționează liniile electrice în cablu. Particularitățile liniilor electrice în cablu condiționează, din această cauză, soluțiile constructive ce trebuie adoptate la proiectarea și asimilarea cablurilor, indiferent de tensiunea nominală de funcționare a liniilor. Aceste particularități sînt în principal următoarele [1], [2], [3]:

— rezistența unui cablu subteran trebuie să cuprindă atît rezistența conductorului activ cît și rezistența corespunzătoare pierderilor în cămașa de plumb, ecrane, tuburi metalice etc., datorită curenților induși în acestea;

— rezistența totală a cablurilor, care ține seama și de pierderile în elementele metalice învecinate, poate fi de circa 1,5 ori mai mare decît rezistența în curent alternativ a conductorului;

— datorită distanțelor mici dintre faze, datorită cămășii de plumb, altor cămăși și dielectricului (hîrtie, PVC, polietilenă, cauciuc etc.), inductanța unui cablu este mult mai mică, iar capacitatea sa mult mai mare; din acest motiv, luarea în considerare a capacității în calculele regimurilor de funcționare a liniilor în cablu trebuie să se facă la tensiunea de 20–35 kV, în timp ce la liniile aeriene de aceeași tensiune, capacitatea, de regulă, se neglijează;

— la liniile în cablu care funcționează la tensiunea de 110 kV și peste această tensiune, trebuie să se țină seama de conductanța transversală, datorită pierderilor în dielectric;

— datorită susceptanței foarte mari (de ordinul 80–100 μS/km), impedanța caracteristică a cablurilor electrice este mult mai mică decît cea a liniilor electrice aeriene, de 20–25 de ori;

— pentru cablurile de înaltă tensiune curentul maxim admisibil de durată limitează puterea transportată la o valoare mult inferioară puterii naturale, de unde rezultă că un cablu furnizează totdeauna putere reactivă în rețea, oricare ar fi puterea pe care o transportă. Particularitățile funcționale ale liniilor electrice în cablu condiționează, de asemenea, soluțiile lor constructive, iar tendințele actuale în acest domeniu reflectă aceste particularități prin [4], [5], [6], [7]:

— diversificarea tipurilor cablurilor de energie în funcție de domeniul lor de utilizare (construcții industriale, mine, instalații petroliere, medii cu pericol de foc, medii corosive, explozive etc.);

— utilizarea unor dielectrici cu clasă termică superioară de izolație pentru cabluri care funcționează la temperaturi de peste 80 °C;

— economisirea metalelor deficitare (cupru, plumb, benzi de oțel) prin înlocuirea lor cu alte materiale, dar cu proprietăți echivalente (aluminiu, materiale plastice și elastomeri sintetici).

În legătură cu cele arătate, în cele ce urmează se prezintă tendințele actuale în construcția cablurilor de energie și a elementelor de îmbinare, precum și unele particularități ale montajului cablurilor din aluminiu.

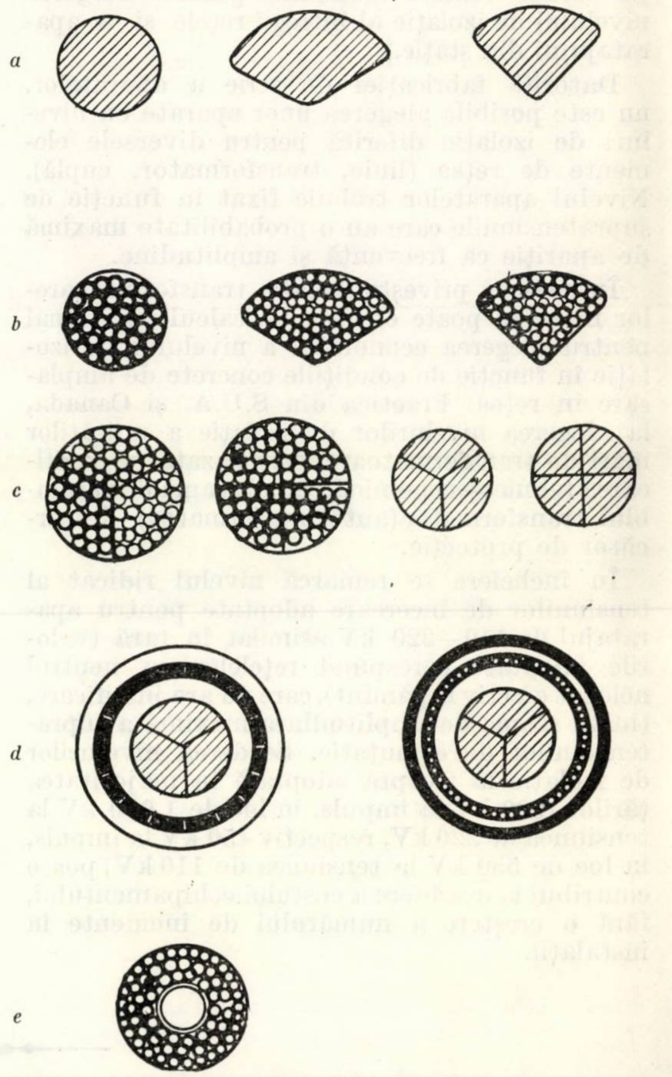
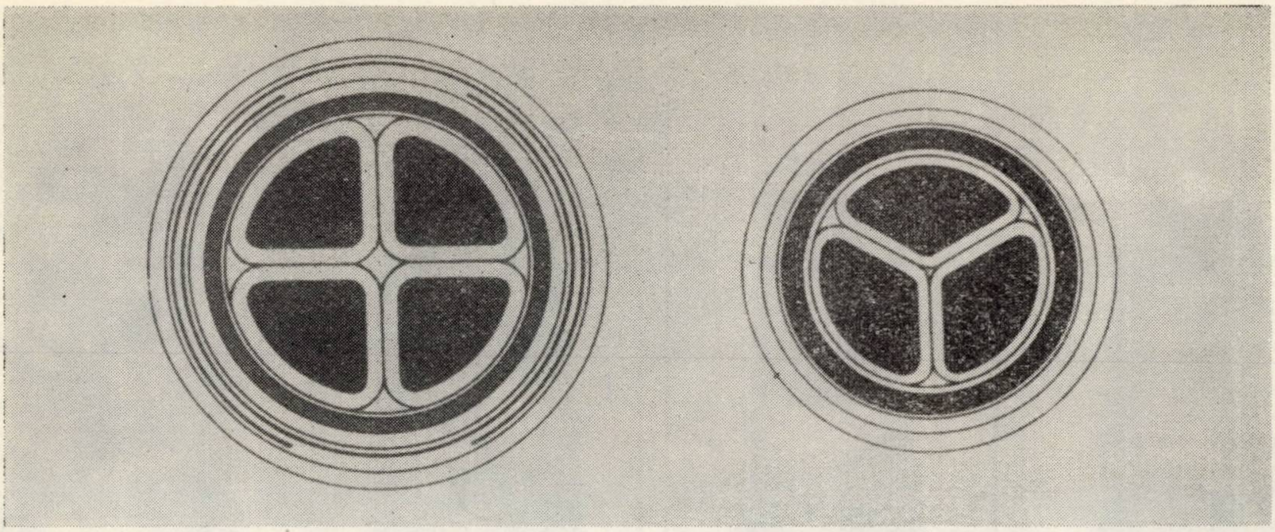



Fig. 1. Secțiuni transversale prin diferite tipuri de cabluri electrice de energie:

*a* — faze de cablu rotunde și sectorizate masiv; *b* — faze de cablu obținute prin toronare pentru montaje mobile; *c* — secțiuni prin cabluri trifazice cu și fără fir neutru; *d* — secțiuni prin cabluri trifazice armate cu sîrmă de oțel zincată aplatizată și cu sîrmă rotundă; *e* — secțiune printr-un cablu cu circulație de ulei sub presiune.

* Constantin Cruceru este șef laborator la Institutul de cercetare și proiectare pentru industria electrotehnică (ICPE) București.



a b

Fig. 2. Secţiuni prin cabluri de energie cu fazele laminate sub formă de sector :
a – cablu cu fir neutru ; b – cablu fără fir neutru.

## Tendinţe actuale în construcţia cablurilor de energie

Actualmente pe plan mondial majoritatea cablurilor de energie se produc :

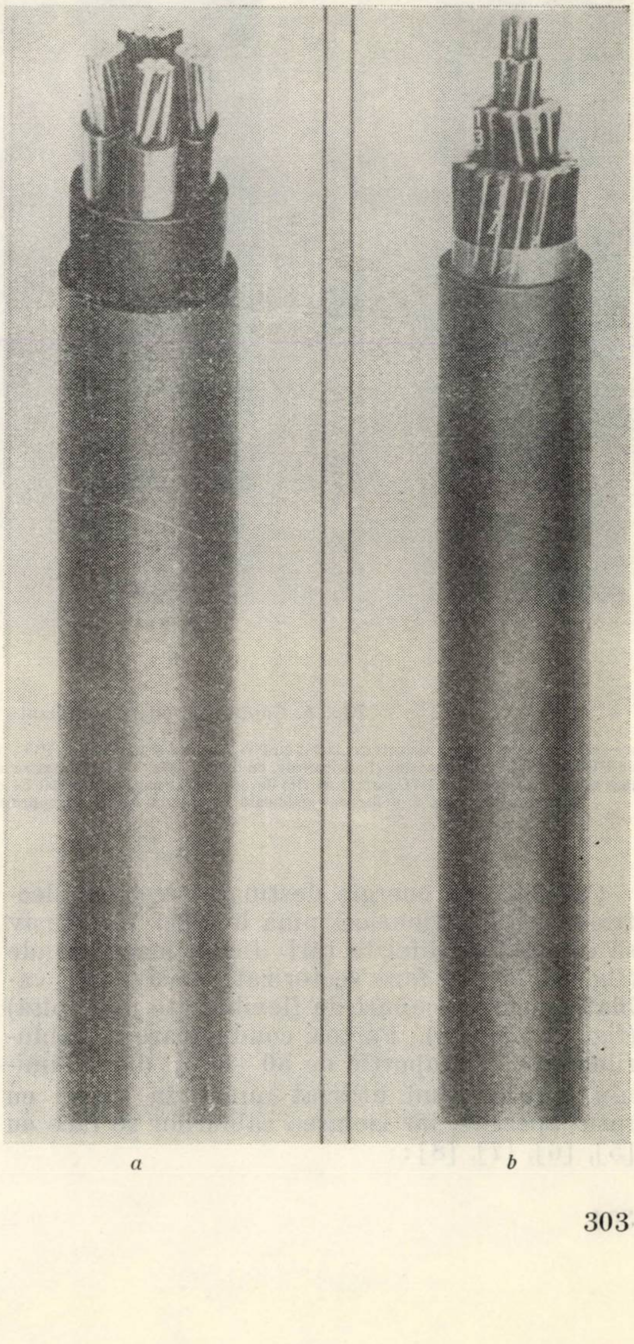
— cu fazele sectorizate, în dauna secţiunilor rotunde, pînă la tensiunea de 10 kW, atît sub formă masivă (fig. 1, *a*) cît şi sub formă cablată (fig. 1, *b*) [2], [4] ;

— adoptîndu-se sistemul de toronare compactă a fazelor atît la cablurile cu fir neutru cît şi la cablurile fără fir neutru, ceea ce asigură economia de materiale protectoare, în comparaţie cu forma rotundă a fazelor, şi reducerea costului cablurilor cu 10–15% (fig. 1, *c*, fig. 2) ;

— aplicîndu-se sistemul de armare protejat cu o manta exterioară din PVC, polietilenă sau policloropren, în vederea combaterii pericolului coroziunii chimice şi electrochimice a armăturii cablurilor (fig. 1, *d*) [5], [6], [7] ;

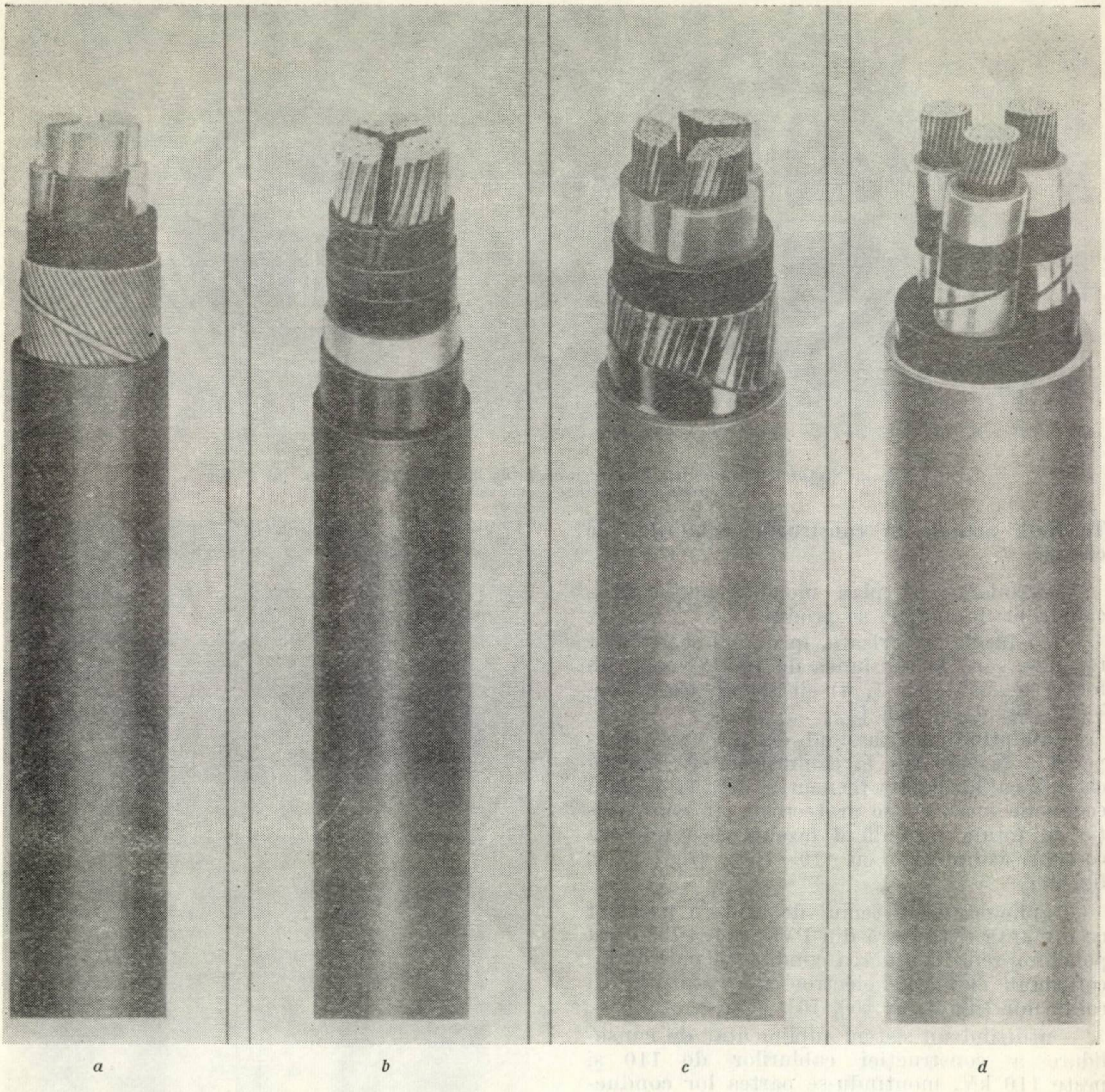
— utilizînd un sistem suplimentar de consolidare a construcţiei cablurilor de 110 şi peste 110 kV, montîndu-se partea lor conductoare pe o spirală interioară de oţel, prin care poate circula ulei sub presiune, destinat răcirii (fig. 1, *e*)

Principiile constructive care stau la baza executării părţii conductoare a cablurilor, aşa cum au fost definite, se regăsesc în construcţia lor de ansamblu, prin sistemul de izolare, respectiv prin dielectricii folosiţi, prin modul de toronare a fazelor, tipurile de învelişuri protectoare şi sistemul de răcire (la cablurile de foarte înaltă tensiune, de peste 110 kV).



a b

Fig. 3. Cabluri de energie, cu izolaţie din PVC şi manta protectoare din PVC, utilizate în reţele electrice pînă la 1000 V inclusiv :
a – cablu cu fir neutru ; b – cablu de telecomandă cu 48 de fire.



*a* *b* *c* *d*

Fig. 4. Cabluri de energie utilizate în rețele și sisteme de 6 și 10 kV:

*a* – cablu trifazat cu faze sectorizate, izolat cu PVC, ecranat și protejat cu PVC, utilizat în rețele de 6 kV; *b* – cablu trifazat cu faze sectorizate, izolat cu folie de PVC, dublu protejat mecanic și anticorosiv, cu două cămăși din PVC, pentru rețele de 6 kV, care funcționează în medii acide și bazice; *c* – cablu trifazat cu faze sectorizate, izolat cu PVC, armat cu fire de oțel zincat plate și protejat cu o cămașă de PVC anticorosiv, utilizat în rețele de 10 kV; *d* – cablu trifazat cu faze rotunde, izolat cu polietilenă reticulată, ecranat cu bandă din cupru și protejat cu o manta anticorosivă din policloropren pentru rețele de 6 și 10 kV.

Cablurile de energie destinate rețelelor electrice care funcționează pînă la 1000 V inclusiv se execută în diferite țări fie cu faze rotunde (fig. 3), fie cu faze sectorizate masive sau cablate (pentru scopuri de flexibilitate deosebită) (fig. 4. *a*, *b*, *c*). Partea conductoare a cablurilor este în proporție de 80–85% din aluminiu, cuprul fiind utilizat numai în cazuri cu totul speciale, iar izolarea cablurilor se face cu [5], [6], [7], [8]:

— policlorură de vinil pentru cablurile care funcționează pînă la tensiunea de 10 kV inclusiv;

— polietilenă reticulată sau normală aplicată prin extrudere pentru cabluri care funcționează la tensiunile de 6–35 kV;

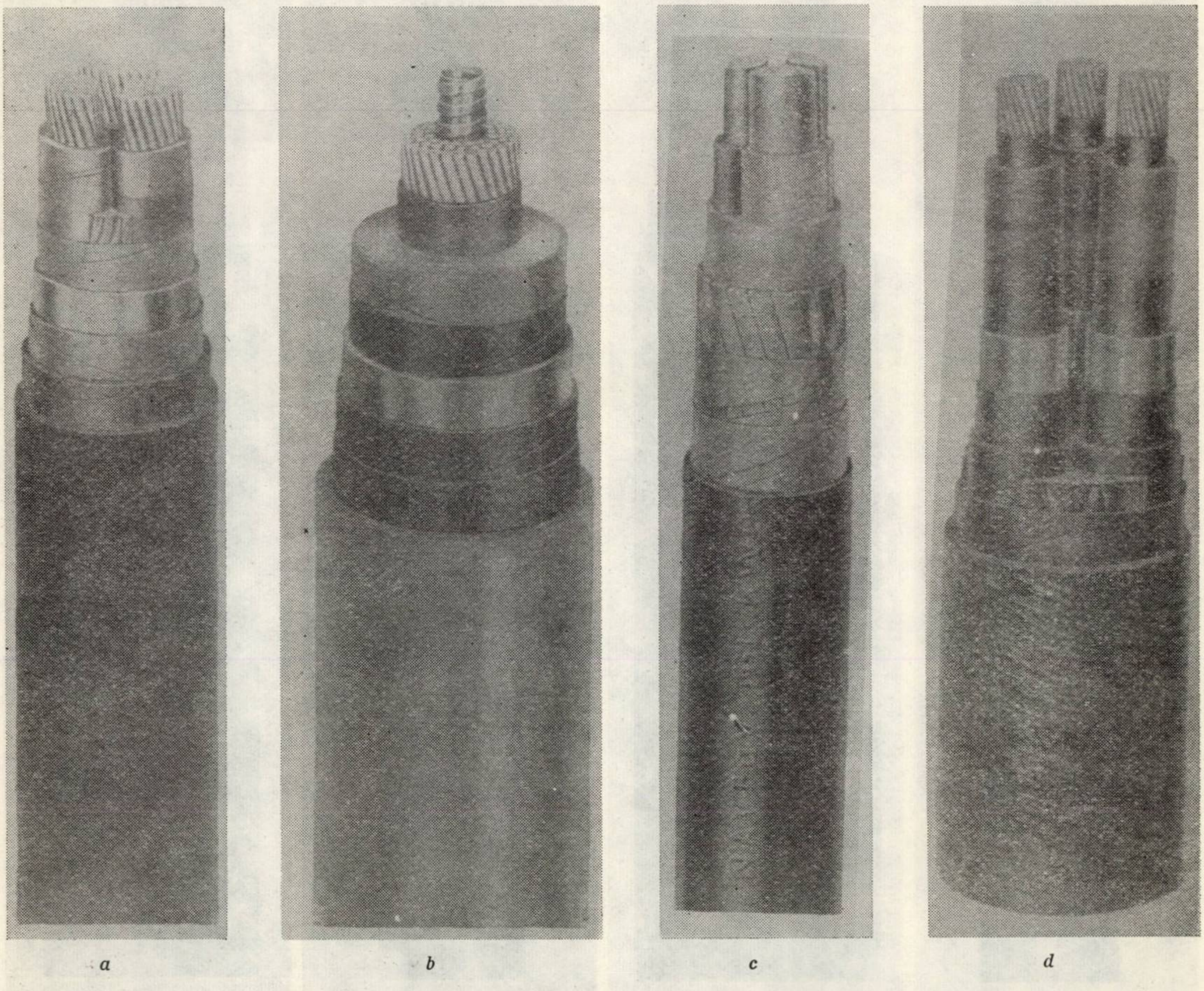
— folie de polietilenă impregnată cu ulei pentru cabluri de 60 și de 110 kV, iar în cazuri speciale de 220 kV;

— hîrtie impregnată cu ulei pentru întreaga gamă a tensiunilor, de la joasă tensiune pînă la tensiunile cele mai înalte (380 și 750 kV).

În figura 4 sînt ilustrate unele tipuri actuale de cabluri de 6 și 10 kV care se produc și în R. S. România și care se caracterizează prin

cîmpului electric și pentru eliminarea influențelor electromagnetice exterioare [6], [8], [9].

Un nou tip constructiv de cablu a fost recent asimilat în R. F. a Germaniei și Japonia pentru rețele electrice de 110 kV (fig. 5, *b*). Acest cablu este izolat cu folie de polietilenă aplicată



*a* *b* *c* *d*

Fig. 5. Cabluri de energie izolate cu polietilenă reticulată.

*a* – cablu de energie cu faze sectorizate, izolat cu folie de polietilenă reticulată protejat cu o cămașă din PVC, pentru rețele electrice de 10 kV; *b* – cablu de energie izolat cu folie de polietilenă reticulată, cu ulei sub presiune (15–20 atm), pentru rețele electrice de 110 kV; *c* – cablu trifazic cu faze sectorizate, izolat prin extrudere, armat cu fire de oțel zincate și protejat cu o manta anticorosivă din PVC pentru rețele de 10 kV; *d* – cablu trifazic cu faze rotunde, izolat cu folie de polietilenă reticulată, pentru rețele de 20 și 35 kV, cu cîmp radial.

aceea că fazele cablurilor sînt sectorizate sau rotunde, izolația fiind executată din PVC (fig. 4, *a*, *b*, *c*) sau din polietilenă reticulată (fig. 4, *c*).

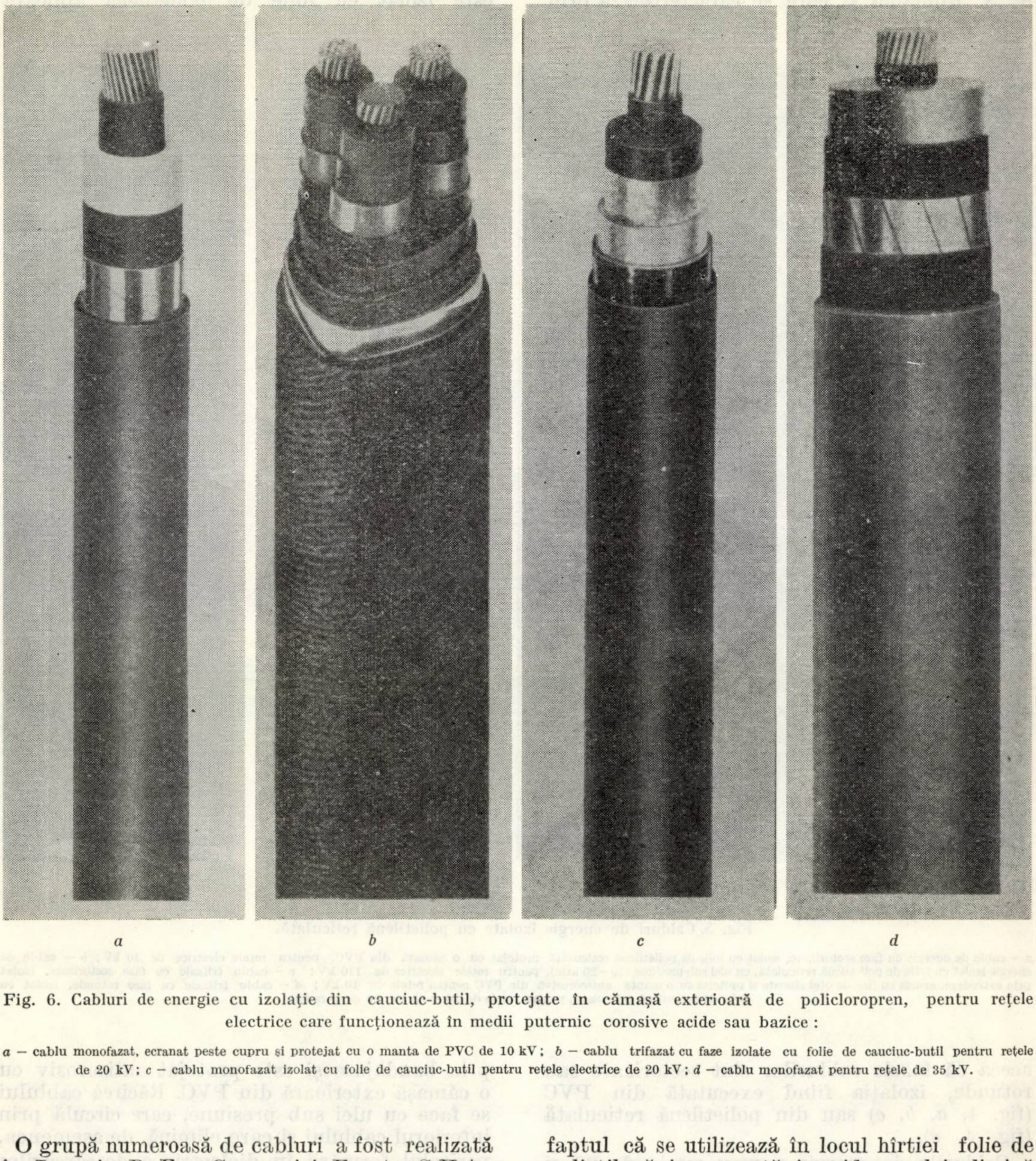
Cablurile de energie pentru rețele de 20 și de 35 kV produse de diferite firme, izolate cu polietilenă reticulată, sînt indicate în figura 5, *d*; ele au fazele ecranate cu folie de cupru sau cu hîrtie metalizată pentru uniformizarea

prin bandajare și este protejat anticorosiv cu o cămașă exterioară din PVC. Răcirea cablului se face cu ulei sub presiune, care circulă prin interiorul cablului și care elimină, de asemenea, pericolul formării în dielectric a descărcărilor parțiale.

Pentru rețele electrice de 20 și 35 kV care funcționează în mine, exploatări petroliere, unde pericolul de coroziune și explozie este

mare, au fost executate cabluri cu izolaţie de cauciuc-butil protejate în cămaşă exterioară de policloropren (fig. 6) [10], [11], [12], [13].

etilenă foliată, aplicată pe cabluri prin aceleaşi procedee tehnologice ca şi hîrtia. Dar, spre deosebire de construcţia clasică a cablurilor,



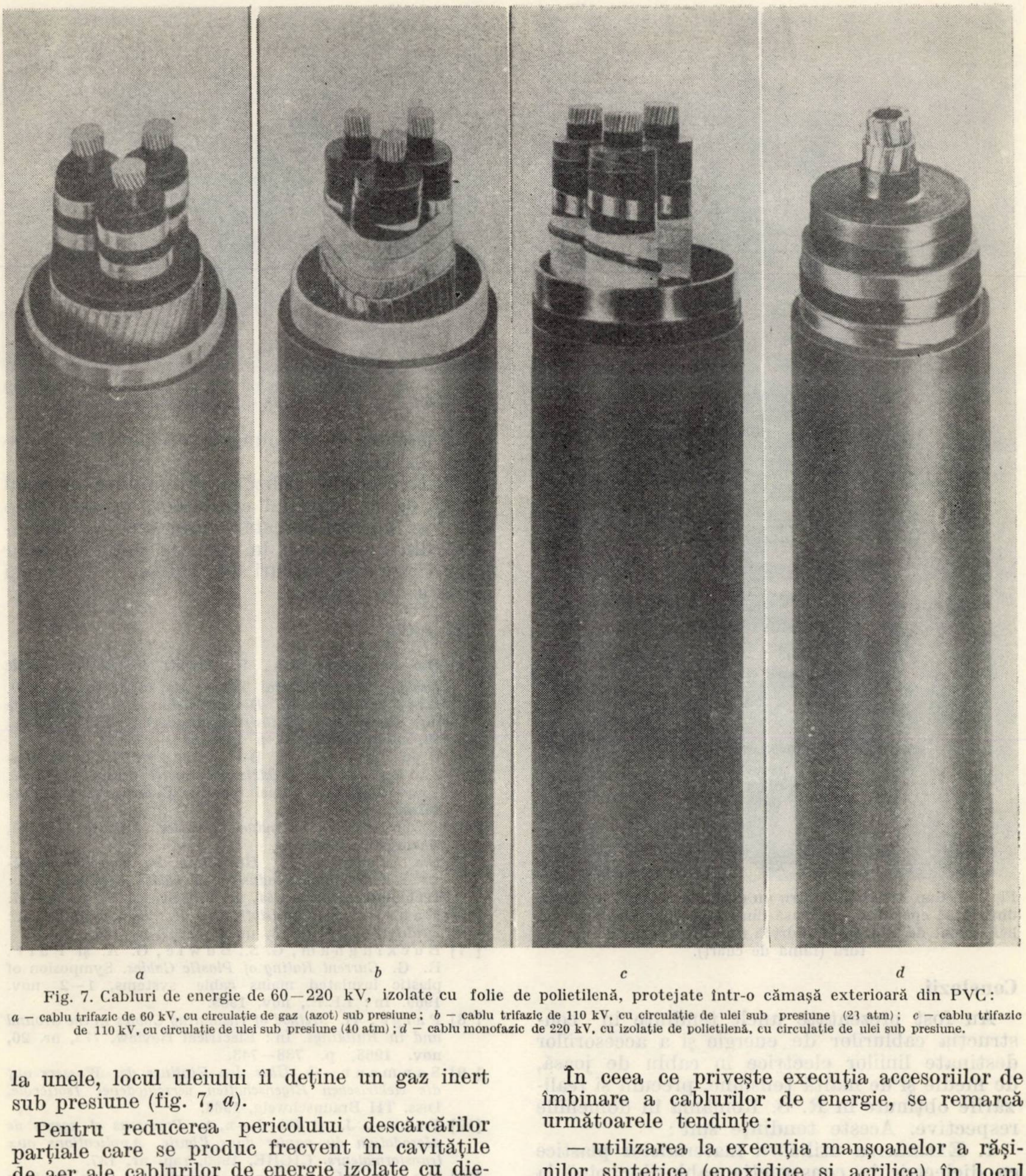
*a* *b* *c* *d*

Fig. 6. Cabluri de energie cu izolaţie din cauciuc-butil, protejate în cămaşă exterioară de policloropren, pentru reţele electrice care funcţionează în medii puternic corosive acide sau bazice :

*a* – cablu monofazat, ecranat peste cupru şi protejat cu o manta de PVC de 10 kV ; *b* – cablu trifazat cu faze izolate cu folie de cauciuc-butil pentru reţele de 20 kV ; *c* – cablu monofazat izolat cu folie de cauciuc-butil pentru reţele electrice de 20 kV ; *d* – cablu monofazat pentru reţele de 35 kV.

O grupă numeroasă de cabluri a fost realizată în Japonia, R. F. a Germaniei, Franţa, S.U.A., U.R.S.S., pentru reţelele de 60–220 kV [11], [12], [13]. Elementul nou în construcţia acestor cabluri, care în forma lor clasică se izolează cu hîrtie, îl constituie izolaţia de poli-

faptul că se utilizează în locul hîrtiei folie de polietilenă impregnată în vid cu ulei elimină aproape complet pericolul formării descărcărilor parţiale şi măreşte durata de viaţă a cablurilor. În figura 7 sînt indicate mai multe tipuri constructive de asemenea cabluri, dintre care,



*a* *b* *c* *d*

Fig. 7. Cabluri de energie de 60—220 kV, izolate cu folie de polietilenă, protejate într-o cămaşă exterioară din PVC:
*a* — cablu trifazic de 60 kV, cu circulaţie de gaz (azot) sub presiune; *b* — cablu trifazic de 110 kV, cu circulaţie de ulei sub presiune (23 atm); *c* — cablu trifazic de 110 kV, cu circulaţie de ulei sub presiune (40 atm); *d* — cablu monofazic de 220 kV, cu izolaţie de polietilenă, cu circulaţie de ulei sub presiune.

la unele, locul uleiului îl deţine un gaz inert sub presiune (fig. 7, *a*).

Pentru reducerea pericolului descărcărilor parţiale care se produc frecvent în cavităţile de aer ale cablurilor de energie izolate cu dielectrici plastici solizi (aplicaţi prin extrudere), se cercetează şi au fost executate cabluri de energie care funcţionează la tensiuni nominale de cel puţin 10 kV, izolate, prin înfăşurare cu materiale plastice sau elastomeri sub formă de folie (PVC, polietilenă, butil), unele impregnate sub vid cu uleiuri minerale sau uleiuri sintetice clorurate (fig. 4, *b*; 5, *a*, *b*, *c*, *d*; 6, *b*, *c*; 7, *a*, *b*, *c*, *d*).

În ceea ce priveşte execuţia accesoriilor de îmbinare a cablurilor de energie, se remarcă următoarele tendinţe:

— utilizarea la execuţia manşoanelor a răşinilor sintetice (epoxidice şi acrilice) în locul răşinilor naturale (bituminoase, parafinice). Formele de turnare a manşoanelor se execută din PVC termorigid, iar răşinile epoxidice se introduc în aceste forme prin injecţie;

— execuţia capetelor terminale trifazice sau monofazice din răşini epoxidice (fig. 8 şi 9) sau prin bandajare şi impregnare cu răşini acrilice şi epoxidice.

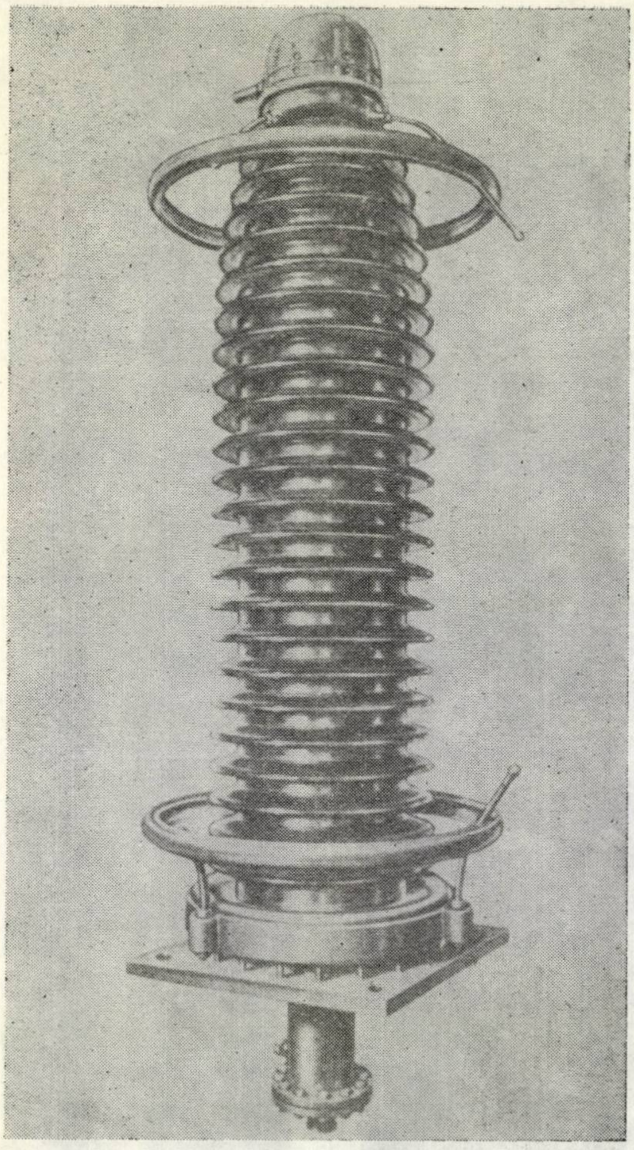


Fig. 8. Cap terminal pentru un cablu de 220 kV, executat din răşină epoxidică, compusă din răşină epoxidică bisfenolică, agent de întărire (anhidridă ftalică) şi agent de umplutură (făină de cuarţ).

## Concluzii

Au fost prezentate unele tendinţe în construcţia cablurilor de energie şi a accesoriilor destinate liniilor electrice în cablu de joasă, de medie şi de înaltă tensiune, precum şi realizările obţinute în R. S. România în domeniile respective. Aceste tendinţe sînt :

1. Extinderea utilizării materialelor plastice ca dielectric în construcţia cablurilor pînă la tensiuni de 110 kV ; este vorba în principal de polietilena extrudată sau de polietilena sub formă de folie.

2. Înlăturarea hîrtiei, ca material izolant, la unele tipuri de cabluri de peste 20 kV, cu folie din polietilenă sau polipropilenă şi impregnarea dielectricului acestor cabluri cu ulei ca mijloc de eliminare a cavităţilor de aer şi gaze, care reprezintă un real pericol de descărcări parţiale şi străpungere prematură a reţelelor în cablu.

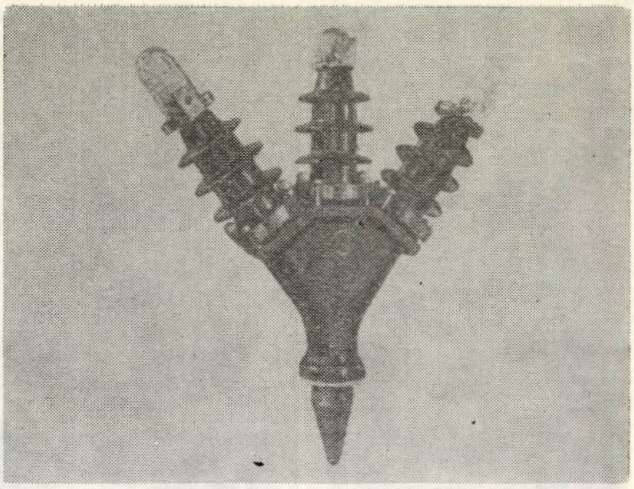


Fig. 9. Cap terminal de cablu trifazic de 10 kV, turnat din răşini epoxidice cu agent de umplere (făină de cuarţ).

3. Extinderea utilizării aluminiului în locul cuprului, ca material conductor, în care scop au fost iniţiate cercetări împreună cu specialişti din metalurgie în vederea obţinerii unor tipuri noi de cabluri de energie, miniere şi pentru alte scopuri.

### Bibliografie


[ 1] Hollingsworth, P. *Trends in Electric Cable Design*. În : Electrical Times, *145*, 1968, p. 197—200.
[ 2] Brinkmann, K. *Die Entwicklung der Isolierstoffe für Hoch und Höchstspannungskabel*. În : ETZ-A, *84*, nr. 4, febr. 1970, p. 119—126.
[ 3] Bacelis, D. S., Belorusov, N. I. şi Saakian, A. E. *Elektriceskie kabeli provoda i şnurî*. Spravocinik pod obşcei redakţii Belorusova Gosenergoizdat, 1963.
[ 4] Cruceru, C. *Conducte electrice*. Editura tehnică, Bucureşti, 1968.
[ 5] De Marsac, H. *Utilisation des nouvelles matières isolantes dans l'industrie de câbles électriques*. În : Technique moderne, *54*, nr. 2, febr, 1969, p. 41—47.
[ 6] Hahne, K. *Kunststoffe in der Kabeltechnik*. În : Draht-Welt *50*, nr. 3, martie 1967, p. 183—193.
[ 7] Buckingham, G. S., Bowie, G. A. şi Parr, R. G. *Current Rating of Plastic Cables*. Symposion of plastic insulated mains cable systems, 1—2 nov. 1969. În : I.E.E., nov. 1969.
[ 8] Paige, H. *Method of Insulating Cables in the Ground and in Buildings*. În : Electrical Review, *173*, nr. 20, nov. 1968, p. 738—743.
[ 9] Sanmann, G. *Über den Einfluss des Wassers auf die elektrischen Eigenschaften verschiedener Isolieröle*. Diss. TH Braunschweig, 1968.
[10] Fabre, J. şi Pichon, A. *Processus et agents de dégradation du papier dans l'huile. Applications aux transformateurs*. CIGRE, 1960, rap. nr. 137.
[11] Moser, H. P. *Einige Bemerkungen zum Problem der Feuchtigkeit und des Luftsauerstoffs in der Transformatorenisolation*. CIGRE-Ber., 1962, Compte-rendu, Bd. I, Gr. 12 (Diskussionsbeitrag).
[12] Buttner, G. *Über den Einfluss gelöster Gase auf die Stabilität des Öl-Papier-Dielektrikum*. F. G-Rdsch. 1950, H. 28, p. 34—45.
[13] Oudin, J. M. *Entwicklung der Höchstspannungs-Wechselstromkabel (Zwangsläufig gekühlte Kabel für 1400 bis 1700 MVA bei 500 bis 600 kV)*. CIGRE, 1958, rap. 212.


**(Articol intrat în redacţie la 17 ianuarie 1972)**

# Prelucrarea automată a informaţiilor privind incidentele, avariile şi deteriorările de echipamente din sistemul electroenergetic naţional

Ing. G. Grigoriu
şi matem. G. Stănciulescu*)

Intrat în funcţiune în anul 1967 (experimental pînă în anul 1969), actualul subsistem informaţional privind incidentele, avariile şi deteriorările de echipamente din sistemul electroenergetic naţional furnizează lunar cantităţi importante de informaţii, care, prelucrate, pot servi diverselor activităţi ce concură la exploatarea şi dezvoltarea sistemului.

Trecînd peste o serie de aspecte critice referitoare la tipul, volumul şi calitatea informaţiilor sesizate de întreprinderile care exploatează instalaţiile electroenergetice din sistem, în conformitate cu reglementările în vigoare, în articol vor fi expuse o serie de probleme legate strict de prelucrarea automată a informaţiilor respective.

Prin subsistemul informaţional privind incidentele, avariile şi deteriorările de echipamente din sistemul electroenergetic naţional, se sesizează anual informaţii referitoare la 30 — — 35 mii de evenimente, un eveniment fiind descris codificat prin intermediul a 80 de caractere numerice (capacitatea unei cartele cu 80 de coloane, tip standard).

Prelucrarea unui asemenea volum de informaţii cu ajutorul unor maşini de calculat de birou, practic, nu putea fi efectuată. În această situaţie s-a apelat la maşinile mecanografice, care, la data intrării în funcţiune a subsistemului informaţional la care ne referim, constituiau singurele echipamente de calcul accesibile şi adecvate scopului urmărit.

Funcţionarea subsistemului informaţional privind incidentele, avariile şi deteriorările de echipamente în perioada 1967—1971 şi utilizarea în cadrul acestui subsistem a maşinilor mecanografice pentru prelucrarea centralizată a informaţiilor reprezintă o experienţă valoroasă, cîştigată în cadrul M.E.E., în domeniul tratării sistematizate a unor volume importante de informaţii referitoare la funcţionarea sistemului electroenergetic naţional. Trebuie amintit faptul că, în perioada la care ne referim, subsistemul informaţional privind incidentele, avariile şi deteriorările de echipamente reprezenta unicul subsistem informaţional de mari dimensiuni din cadrul M.E.E., care utiliza echipamente de calcul în prelucrarea informaţiilor.

Utilizarea maşinilor mecanografice în prelucrarea informaţiilor privind incidentele, avariile şi deteriorările de echipamente din sistem a fost însoţită de o serie de dificultăţi generate de posibilităţile limitate ale acestui gen de echipament. În decursul timpului, unele dintre aceste dificultăţi s-au accentuat şi au fost chiar de natură să facă inoperant întregul subsistem informaţional. În aceste condiţii, avînd posibilitatea apelării la sisteme electronice de calcul automat, în cursul anilor 1970—1971, s-a trecut în cadrul I.S.P.E. la proiectarea şi realizarea unui nou sistem de prelucrare a informaţiilor privind incidentele, avariile şi deteriorările de echipamente din sistemul electroenergetic naţional.

Înainte de a prezenta noul sistem de prelucrare, este util să se expună succint dificultăţile legate de utilizarea maşinilor mecanografice, ceea ce permite să se evidenţieze posibilităţile sensibil sporite oferite de utilizarea sistemelor electronice de calcul automat. Aceste dificultăţi se referă la validarea, prelucrarea şi stocarea informaţiilor primare.

Odată primite de la întreprinderi centralizatoarele cu informaţiile primare codificate, personalul însărcinat cu prelucrarea informaţiilor efectua o serie de verificări sumare: numărul de evenimente pe întreprinderi, încadrarea în perioada de raportare, valorile raportate pentru energia electrică şi căldura nelivrabilă, durata evenimentelor. Pe măsura efectuării prelucrărilor rezultau o serie de erori (provenite fie din raportări, fie din operaţia de perforare a cartelelor), care erau eliminate pe măsura depistării lor. Echipamentul utilizat în prelucrare nu permitea efectuarea unor verificări logice, care ar fi putut contribui într-o măsură foarte mare la îmbunătăţirea calităţii şi la obiectivizarea informaţiilor. Se au în vedere verificările privind încadrarea informaţiei în codurile stabilite de „Regulamentul pentru analiza şi evidenţa incidentelor de exploatare din instalaţiile de producere, transport şi distribuţie a energiei electrice şi căldurii" [1], corelarea informaţiilor la nivelul instalaţiilor şi al echipamentelor.

În ceea ce priveşte prelucrarea informaţiilor, dificultatea cea mai importantă o constituia timpul relativ mare în care se puteau obţine informaţii elaborate într-o formă accesibilă beneficiarilor. În afară de timpii mari necesari efectuării unor sortări succesive şi unor prelucrări, era nevoie de intervenţia omului, care, pe baza datelor extrase pe tabulograme, trebuia să întocmească situaţii (tabele) ce urmau a fi puse la dispoziţia beneficiarilor.

Relativ la stocarea informaţiilor pe cartele perforate, dificultăţile proveneau de la faptul că, în timp, suportul fizic al informaţiilor (car-

*) George Grigoriu este inginer consilier la I.S.P.E.; matematician Georgeta Stănciulescu lucrează în aceeaşi instituţie.

tela) se deteriora. Deteriorarea cartelelor era cu atît mai rapidă cu cît operaţiile de sortare şi de trecere prin tubulator erau mai numeroase. De asemenea trebuie menţionat faptul că după cîţiva ani depozitarea şi manipularea cartelelor perforate devin o problemă ce nu poate fi neglijată. Manipularea acestora este însoţită în mod inevitabil de pierderi şi de distrugeri, ce impun refaceri de cartele, care, de asemenea, în mod inevitabil sînt însoţite de erori. Toate aceste elemente sînt de natură ca, în timp, să ducă la o degradare a informaţiilor stocate, la o falsificare a acestora.

Utilizarea sistemelor de calcul automat elimină toate dificultăţile menţionate şi, în plus, creează posibilitatea valorificării în mai mare măsură a informaţiilor primare sesizate de întreprinderi.

În sistemul proiectat, lanţul prelucrării automate a informaţiilor include următoarele trei etape ;

— validarea informaţiilor primare şi stocarea lor pe suporturi magnetice (benzi sau discuri magnetice) ;

— selectarea din totalul evenimentelor înregistrate a acelor evenimente care prezintă interes în raport cu rezultatele solicitate de beneficiari ;

— prelucrarea informaţiilor aferente evenimentelor selectate şi elaborarea rezultatelor solicitate de beneficiari.

În cele ce urmează vor fi prezentate pe larg cele trei etape, insistîndu-se asupra facilităţilor pe care le oferă diverşilor beneficiari noul sistem de prelucrare proiectat în I.S.P.E.

### 1. Validarea informaţiilor primare crearea şi ţinerea la zi a fişierelor permanente pe suporturi magnetice

*1.1.* Pe măsura primirii centralizatoarelor de la întreprinderi (lunar), informaţiile primare codificate sînt transpuse pe cartele perforate şi apoi înregistrate pe suporturi magnetice.

Anterior operaţiei de înregistrare pe suporturi magnetice, informaţiile primare sînt verificate automat de calculator, prin programele denumite FISINC (pentru incidente-avarii) şi FISDET (pentru deteriorările de echipamente). Toate erorile depistate în informaţiile primare sînt scrise la imprimantă.

Verificările care se efectuează asupra informaţiilor primare sînt de două genuri :

— *verificări simple* : se verifică dacă toate informaţiile aferente unui eveniment sînt codificate corect, respectiv dacă sînt utilizate codurile prevăzute în regulament ;

— *verificări corelate* : pe categorii de instalaţii, se verifică dacă se indică parametrii nominali caracteristici şi echipamentele deteriorate specifice categoriei respective de instalaţii. Pe categorii de echipamente deteriorate se verifică dacă se indică caracteristicile tehnice specifice categoriei respective de echipamente. De exemplu, dacă un incident (avarie) a avut loc pe o linie electrică aeriană, se verifică dacă s-a indicat tensiunea nominală de funcţionare a liniei (nu se va indica o putere sau un debit). La echipamente deteriorate, se verifică dacă s-au indicat echipamente specifice liniilor : stîlpi, izolatoare, cleme, conductoare de fază sau de protecţie etc.

După verificarea tuturor informaţiilor aparţinînd unui eveniment, în funcţie de gravitatea erorilor constatate, se adoptă una dintre următoarele două soluţii :

— evenimentul nu se înregistrează pe suport magnetic ;

— evenimentul se înregistrează pe suport magnetic după ce în prealabil erorile constatate au fost corectate în mod automat.

Erorile care pot determina adoptarea primei soluţii se referă la următoarele tipuri de informaţii :

— codul întreprinderii ;
— numărul fişei de eveniment ;
— durata evenimentului ;
— energia electrică (căldura) nelivrabilă.

Pentru eliminarea acestor erori, care pot fi introduse fie la întocmirea centralizatoarelor, fie la perforarea cartelelor, este necesar să se perforeze o nouă cartelă cu informaţii corecte şi să se reia operaţia de verificare. Se menţionează că la perforarea cartelelor se efectuează şi o operaţie de verificare, erorile de perforare fiind foarte rare.

Pentru toate celelalte genuri de erori se adoptă soluţia a doua. În vederea corectării automate a erorilor depistate, a fost necesar să se prevadă, suplimentar faţă de codurile adoptate în [1], coduri pentru situaţiile ,,lipsă date'' şi ,,nu este cazul''.

*1.2.* Pe baza experienţei anului 1971 se observă că scrierea tuturor erorilor constatate în informaţiile primare şi transmiterea acestora întreprinderilor în cauză au un efect pozitiv, în sensul sporirii atenţiei personalului la codificarea şi la transcrierea informaţiilor. Pentru erorile depistate în informaţiile primare, în lista obţinută la imprimantă se indică codul întreprinderii, numărul fişei de eveniment şi coloanele din cartelă care conţin informaţii eronate.

În 1971, din verificările efectuate, se constată că pentru peste 50% din evenimente informaţiile transmise conţineau una sau mai multe erori. Marea majoritate a acestora se refereau la parametrii nominali ai instalaţiilor afectate de incidente-avarii şi la caracteristicile tehnice ale echipamentelor deteriorate. Toate erorile constatate au fost corectate automat, ele nefiind atît de grave încît să necesite intervenţia omului.

Trebuie de asemenea menționat faptul că pentru trimestrul IV/1971, ca urmare a transmiterii către întreprinderi a erorilor depistate în trimestrele anterioare, numărul erorilor constatate în informațiile primare a scăzut simțitor (sub 30%).

*1.3.* Din cele prezentate la pct. *1.1.* rezultă că informațiile primare primite de la întreprinderi, după ce sînt validate (verificate și corectate), se înregistrează pe un suport magnetic, ele constituind un fișier permanent pus la dispoziția diverșilor beneficiari. Fișierul permanent este organizat secvențial. În figura 1 este prezentată schema de organizare a programului FISINC, care, așa cum se poate vedea, permite și efectuarea operației de ținere la zi a fișierului.

Plecînd de la generația I, versiunea 1 a fișierului (fișier creat numai după cartele perforate), se pot crea noi versiuni ale aceleiași generații sau noi generații de fișiere, prin transcrierea vechii versiuni (generații) și apoi prin înregistrarea în continuare de pe cartelele perforate a informațiilor aparținînd noilor evenimente.

Fișierele permanente existente în biblioteca Centrului de calcul I.S.P.E. sînt păstrate pe benzi magnetice — diferite pentru incidente și deteriorări de echipamente — în dublu exemplar.

## 2. Regruparea evenimentelor și prelucrarea informațiilor

*2.1.* Conform cererilor de informații ale beneficiarilor, puține sînt situațiile în care este necesar să se prelucreze informațiile aparținînd tuturor evenimentelor înregistrate în fișierele permanente. Cele mai frecvente sînt situațiile cînd se cer informații elaborate asupra unei categorii restrînse de evenimente. De exemplu, evenimentele care au avut loc într-o anumită perioadă de timp (trimestru, lună), la o anumită categorie de întreprinderi (C.I.P.E.E.T., C.I.T.D.E.E.), la o anumită categorie de instalații (linii, stații, cazane, turbine) etc.

Pentru rezolvarea acestor situații sînt posibile două soluții :

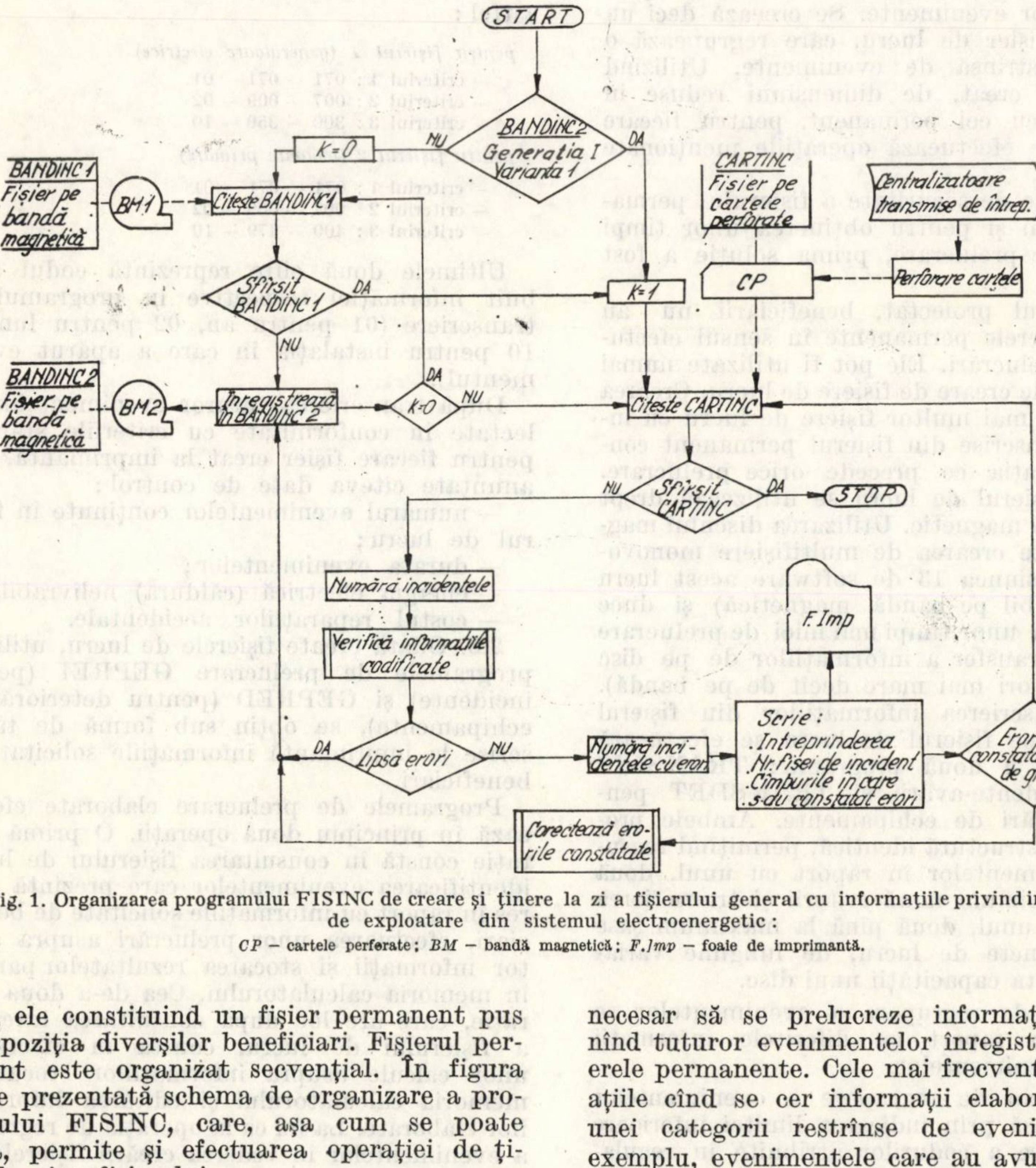



**Fig. 1.** Organizarea programului FISINC de creare și ținere la zi a fișierului general cu informațiile privind incidentele de exploatare din sistemul electroenergetic :

*CP* — cartele perforate ; *BM* — bandă magnetică ; *F.Imp* — foaie de imprimantă.

*Soluția I*: Pentru fiecare prelucrare se parcurge fișierul permanent, se identifică evenimentele care prezintă interes în raport cu informațiile solicitate de beneficiari și se prelucrează informațiile aparținînd acestor evenimente.

*Soluția II*: Pentru un set de prelucrări, care se referă la aceeași categorie de evenimente, se parcurge fișierul permanent, se identifică evenimentele în cauză și se transcriu pe un alt suport magnetic informațiile aparținînd acestor evenimente. Se creează deci un nou fișier, fișier de lucru, care regrupează o categorie restrînsă de evenimente. Utilizînd fișierul nou creat, de dimensiuni reduse în comparație cu cel permanent, pentru fiecare prelucrare se efectuează operațiile menționate la soluția I.

Din motive de securitate a fișierului permanent, precum și pentru obținerea unor timpi mai mici de prelucrare, prima soluție a fost eliminată.

În sistemul proiectat, beneficiarii nu au acces la fișierele permanente în sensul efectuării unor prelucrări. Ele pot fi utilizate numai în operația de creare de fișiere de lucru. Crearea unuia sau a mai multor fișiere de lucru cu informații transcrise din fișierul permanent constituie operația ce precede orice prelucrare.

Pentru fișierul de lucru se utilizează drept suport discul magnetic. Utilizarea discului magnetic permite crearea de multifișiere monovolum (în versiunea 13 de software acest lucru nu este posibil pe bandă magnetică) și duce la realizarea unor timpi mai mici de prelucrare (viteza de transfer a informațiilor de pe disc este de trei ori mai mare decît de pe bandă).

*2.2.* Transcrierea informațiilor din fișierul permanent pe fișierul de lucru se efectuează cu ajutorul a două programe: TRANSINC pentru incidente-avarii și TRANSDET pentru deteriorări de echipamente. Ambele programe au o structură identică, permițînd regruparea evenimentelor în raport cu unul, două pînă la maximum nouă criterii și transcrierea acestora în unul, două pînă la maximum șase fișiere distincte de lucru, de lungime variabilă, în limita capacității unui disc.

Criteriile de regrupare a evenimentelor se stabilesc în raport cu diferitele informații asociate evenimentelor.

Un criteriu de regrupare a evenimentelor se formulează prin indicarea limitei inferioare și superioare a codurilor atribuite în regulament unei anumite informații, precum și a codului atribuit aceleiași informații în programul de transcriere.

Pentru un eveniment se pot formula criterii de regrupare în raport cu maximum 27 de informații (din cele mai frecvent utilizate), simultan satisfăcîndu-se, așa după cum s-a arătat, doar nouă dintre ele. Programele elaborate permit, cu unele modificări, extinderea numărului de informații pentru care se pot formula criterii de regrupare practic la toate informațiile referitoare la un eveniment.

Pentru fiecare fișier de lucru, criteriile se formulează separat. De exemplu, dacă se dorește să se creeze două fișiere de lucru cu evenimentele petrecute în anul 1971, trimestrul III, la generatoarele electrice (cod 300—359) și, respectiv, la motoarele primare (cod 400 — 479), criteriile de regrupare se formulează astfel:

*pentru fișierul 1 (generatoare electrice)*

— criteriul 1 : 071 — 071 — 01
— criteriul 2 : 007 — 009 — 02
— criteriul 3 : 300 — 359 — 10

*pentru fișierul 2 (motoare primare)*

— criteriul 1 : 071 — 071 — 01
— criteriul 2 : 007 — 009 — 02
— criteriul 3 : 400 — 479 — 10

Ultimele două cifre reprezintă codul atribuit informației respective în programul de transcriere (01 pentru an, 02 pentru lună și 10 pentru instalația în care a apărut evenimentul).

După transcrierea tuturor evenimentelor selectate în conformitate cu criteriile stabilite pentru fiecare fișier creat la imprimantă, sînt anunțate cîteva date de control:

— numărul evenimentelor conținute în fișierul de lucru;
— durata evenimentelor;
— energia electrică (căldura) nelivrabilă;
— costul reparațiilor accidentale.

*2.3.* Odată create fișierele de lucru, utilizînd programele de prelucrare GEPREI (pentru incidente) și GEPRED (pentru deteriorări de echipamente), se obțin sub formă de tabele scrise la imprimantă informațiile solicitate de beneficiari.

Programele de prelucrare elaborate efectuează în principiu două operații. O primă operație constă în consultarea fișierului de lucru, identificarea evenimentelor care prezintă interes în raport cu informațiile solicitate de beneficiari, efectuarea unor prelucrări asupra acestor informații și stocarea rezultatelor parțiale în memoria calculatorului. Cea de-a doua operație, care are loc după consultarea integrală a fișierului de lucru, constă în efectuarea unor calcule asupra informațiilor stocate în memoria calculatorului și editarea informațiilor elaborate. La fel ca la operația de regrupare a evenimentelor în vederea creării fișierelor de lucru, la prelucrare, programele GEPREI și GEPRED oferă posibilitatea selectării evenimentelor în raport cu satisfacerea simultană a una, două pînă la maximum nouă condiții impuse informațiilor aferente evenimentelor. De exemplu, avînd constituit un fișier de lucru cu evenimentele ce au avut loc la liniile electrice aeriene, se pot furniza informații elabo-

rate referitoare numai la evenimentele care satisfac următoarele nouă condiţii :

— linia este construită pe stîlpi de beton simplu circuit, cu conductoare de protecţie ;

— evenimentele au avut loc în luna iulie ;

— evenimentele au avut drept prilej manifestări ale naturii ;

— evenimentele au avut drept cauză supratensiuni de natură atmosferică ;

— situaţia atmosferică : ploaie intensă ;

— fenomene atmosferice : descărcări atmosferice ;

— ora apariţiei evenimentului : între orele 18 şi 21 ;

— funcţionarea dispozitivelor de automatizare electrică : RAR trifazat electric a funcţionat nereuşit ;

— tensiunea de funcţionare a liniei : 110—400 kV.

Programele de prelucrare elaborate permit să se pună condiţii de selectare a evenimentelor pentru 26 de tipuri de informaţii la incidente-avarii şi 34 la deteriorări de echipamente.

Odată identificat un eveniment care satisface condiţiile de prelucrare impuse, se extrag şi se stochează în memoria calculatorului următoarele informaţii, denumite în cele ce urmează „informaţii utile" :

*pentru incidente-avarii* :

— numărul de evenimente ($N$)

— durata evenimentelor ($D$)

— energia electrică nelivrabilă ($E$)

— căldură nelivrabilă ($C$)

*pentru deteriorări de echipamente* :

— numărul de echipamente deteriorate ($N$)

— durata reparaţiilor accidentale ($D$)

— costul reparaţiilor accidentale ($V$)

— frecvenţa elementelor deteriorate ($M$)

Soluţia adoptată pentru stocarea informaţiilor utile în memoria calculatorului, precum şi calculele care se efectuează asupra acestor informaţii diferă în funcţie de formatul utilizat pentru editarea informaţiilor elaborate (rezultatelor).

*2.4.* Programele elaborate oferă patru posibilităţi de editare a rezultatelor.

În raport cu desfăşurarea pe verticală se pot utiliza două opţiuni :

— cu nominalizarea tuturor întreprinderilor de centrale şi reţele electrice, a centralelor industriale şi a poziţiei „Total sistem" ;

— cu nominalizarea numai a centralelor industriale şi a poziţiei „Total sistem".

În raport cu desfăşurarea pe orizontală se pot utiliza, de asemenea, două opţiuni :

— pentru una dintre informaţiile utile menţionate mai sus ($N$, $D$, $E$, $C$, $V$ sau $M$), nominalizarea a zece coduri cuprinse în limitele indicate pentru ultima condiţie de selectare a evenimentelor şi a unei rubrici de total. Pentru exemplul dat la pct. *2.3*, pe orizontală se pot nominaliza tensiunile de 110, 220, 400 kV şi totalul de 110—400 kV ;

— nominalizarea tuturor informaţiilor utile, precum şi a unor indici calculaţi pe baza acestor informaţii şi a inventarului instalaţiilor, pentru toate evenimentele care satisfac condiţiile de selectare impuse.

Pentru exemplul dat la pct. *2.3*, rezultatele se vor referi la totalul de linii de 110—400 kV.

În figura 2 se prezintă schema de organizare a programelor (TRANSINC şi GEPREI) de prelucrare a informaţiilor privind incidentele-avariile.

## 3. Facilităţi şi performanţe

*3.1.* La proiectarea noului sistem de prelucrare automată a informaţiilor privind incidentele, avariile şi deteriorările de echipamente din sistemul electroenergetic naţional, aşa după cum s-a arătat în prima parte a articolului, s-a urmărit în primul rînd realizarea unor modalităţi simple, prin care diverşii beneficiari să poată obţine într-un timp scurt multiple informaţii elaborate.

Experimentarea în cursul anului 1971 a sistemului proiectat, prin efectuarea unui număr foarte mare de prelucrări asupra informaţiilor aferente evenimentelor din anii 1970 şi 1971, a permis să se opereze o serie de îmbunătăţiri de natură să mărească supleţea sistemului (furnizează informaţii elaborate pentru o diversitate foarte mare de cereri), să simplifice modul de conversare a beneficiarilor cu sistemul de calcul şi să diminueze timpul necesar efectuării prelucrărilor.

Există toate premisele ca, începînd din trimestrul II/1972, la sistemul proiectat să aibă acces direct toţi beneficiarii de informaţii din M.E.E.

*3.2.* Facilităţile pe care le oferă sistemul proiectat beneficiarilor de informaţii incumbă prestarea în cadrul Centrului de calcul I.S.P.E. a unor activităţi permanente necesare pentru :

— Crearea şi ţinerea la zi (lunar) a fişierelor permanente — pe suporturi magnetice — cu informaţii primare validate, referitoare la evenimentele ce au avut loc în sistemul electroenergetic. În prezent, în biblioteca Centrului de calcul I.S.P.E. există organizate fişierele corespunzătoare anilor 1970 şi 1971.

— Crearea şi ţinerea la zi (anual) a fişierelor permanente — pe suporturi magnetice — cu informaţii referitoare la inventarul instalaţiilor din sistem. Primul fişier se va crea pentru anul 1971.

— Perfecţionarea programelor de prelucrare şi informarea beneficiarilor asupra modificărilor intervenite în modul de lucru cu sistemul de calcul.

*3.3.* În aceste condiţii, sarcina diverşilor beneficiari de informaţii elaborate este foarte mult simplificată. Ea constă în indicarea pe cartele perforate a unor informaţii privind :

— fişierele permanente pe care le utilizează;
— fişierele de lucru pe care le creează (opţional);
— prelucrarea solicitată (titlul prelucrării, condiţiile de selectare a evenimentelor, formatul de editare a rezultatelor).

Pentru prelucrările cu o frecvenţă mare de solicitare, va exista posibilitatea indicării numai a codului prelucrării, informaţiile referitoare la titlu, condiţii şi format urmînd să fie apelate

Configuraţia necesară sistemului de calcul este următoarea:
— memorie operativă: 64 k;
— două unităţi de bandă magnetică;
— o unitate de discuri magnetică;
— o imprimantă;
— un lector de cartele.

*3.5.* În ceea ce priveşte timpii realizaţi la efectuarea prelucrărilor, se pot furniza urmă-

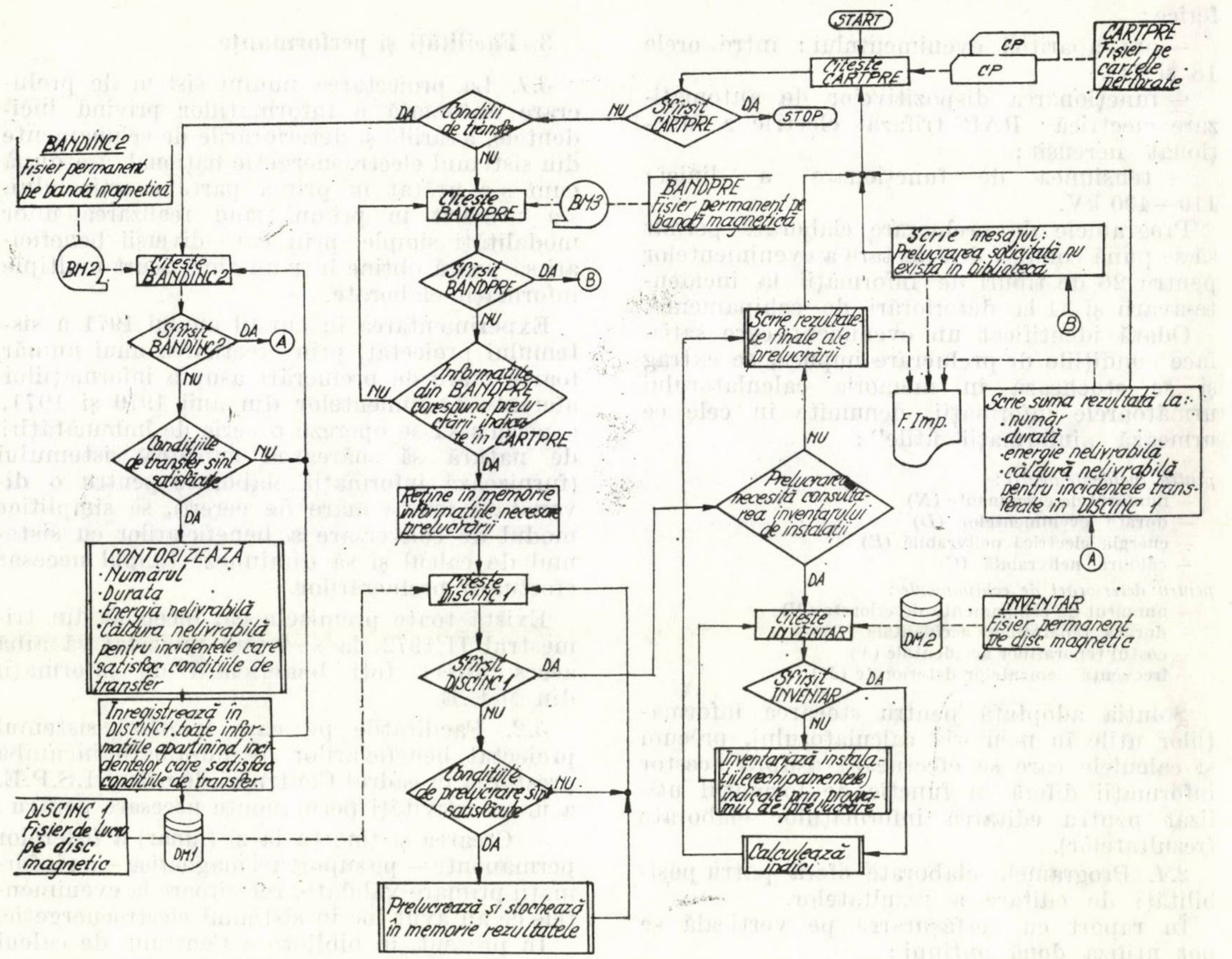



Fig. 2. Organizarea programelor pentru prelucrarea informaţiilor privind incidentele din sistemul electroenergetic: *CP* – cartele perforate; *BM* – bandă magnetică; *DM* – disc magnetic; $F._{Imp}$ – foaie de imprimantă.

de programul de prelucrare din biblioteca de prelucrări (BANDPRE), care se va organiza în cursul acestui an.

Rezultatele obţinute la imprimantă pot fi multiplicate în numărul necesar de exemplare format A4, utilizînd echipamentul RANK-XEROX–CFP din dotarea Centrului de calcul I.S.P.E.

*3.4.* Setul de programe elaborate pentru prelucrarea automată a informaţiilor privind incidentele, avariile şi deteriorările de echipamente este scris în limbaj COBOL-IRIS-50.

toarele elemente: timpul necesar efectuării unei prelucrări este în raport direct cu numărul evenimentelor conţinute în fişierul de lucru (timp de citire) şi cu numărul evenimentelor care satisfac condiţiile de prelucrare (timp de calcul).

Pentru un fişier de lucru care conţine circa 5 000 de evenimente (un trimestru), timpul necesar efectuării unei prelucrări variază între 2 şi 8 min; pentru un fişier cu 25 000 de evenimente (un an), acest timp variază între 15 şi 30 min. Aceşti timpi au rezultat în condi-

țiile în care unitatea centrală a sistemului de calcul nu dispunea de unitatea de calcul zecimal. Efectuînd o serie de prelucrări la un calculator IRIS-50 cu unitate de calcul zecimal, s-a constatat că viteza de prelucrare crește de 5 ori, respectiv timpii de prelucrare se reduc la 1/5.

În condițiile în care se solicită un număr mare de prelucrări, prin crearea mai multor fișiere de lucru se obține o reducere sensibilă (cu 30 pînă la 50%) a timpului mediu de prelucrare.


**Bibliografie**

[1] * * * *Regulament pentru analiza și evidența incidentelor de exploatare din instalațiile de producere, transport și distribuție a energiei electrice și căldurii.* M.E.E., 1969.

[2] Grigoriu, G. *Preocupări în direcția introducerii prelucrării automate a datelor în sistemul informațional al M.E.E.* În: Energetica, *19*, nr. 9, 1971.

[3] Grigoriu, G. și Andronache, H. *Organizarea fișierelor descriptive ale instalațiilor și consumatorilor din sistemul electroenergetic național în vederea stocării și prelucrării automate a informațiilor.* Comunicare făcută la sesiunea tehnico-științifică a I.S.P.E., aprilie 1971.


(Articol intrat în redacție la 23 februarie 1972)

# Noțiuni fundamentale referitoare la metodele de identificare experimentală a unui proces. Posibilități de aplicare a acestor metode în energetică

Ing. D. Drăgan *)

În momentul de față, în energetică, etapa modelării proceselor dinamice pe calculator cifric nu reclamă dificultăți deosebite; se impune însă cunoașterea cît mai exactă a datelor ce se introduc în aceste modele. O parte dintre aceste date sînt obținute de la furnizor ($X_d''$, $X_d'$, $X_d$, $X_q$, $T_{d0}'$, $T_{d0}''$, $T_{q0}''$, $GD^2$ etc.).

De remarcat faptul că chiar unele dintre acestea (cum ar fi, de exemplu, reactanțele) sînt comunicate beneficiarului cu o plajă posibilă de pînă la ± 20% față de cifra comunicată. Această imprecizie este deosebit de supărătoare. Alte date, cum ar fi funcțiile de transfer ale regulatoarelor automate de tensiune, de viteză, ale supraîncălzitoarelor intermediare, ale turbinelor, efectul conductei forțate la centrale hidroelectrice, ale cazanelor de abur la centrale termoelectrice, de cele mai multe ori nu se cunosc. Se impune deci determinarea acestor parametri pe cale experimentală. Mai mult, modelarea pe calculator a unor fenomene mai complicate, cum ar fi, de exemplu, problema resincronizării grupurilor de mare putere, nu este posibilă decît utilizînd rezultatele unor probe experimentale. În acest caz, modelul matematic al procesului de resincronizare este mult mai complex, cerînd cunoașterea unor parametri specifici ai grupului, parametri ce nu se pot obține decît din date experimentale. De exemplu, pentru un grup hidro, modelul matematic al unui regulator automat de viteză (RAV) are aspectul din figura 1.

*) Dumitru Drăgan este inginer proiectant la I.S.P.E.

O parte dintre aceste modele matematice pentru RAV (atît pentru grupuri termo cît și pentru grupuri hidroelectrice) sînt studiate în [11].

Articolul de față își propune să treacă în revistă, pe scurt, metodele experimentale de determinare a modelului dinamic (matematic) al unui proces oarecare, reținînd în final pe cele care pot fi avantajoase din punctul de vedere al energeticianului. Se descriu posibilitățile de aplicare a acestor metode în energetică și se redau, succint, rezultatele obținute pînă în prezent în această direcție în energetică.

## 1. Noțiunea de identificare

În automatică se numește „identificare" procedeul de determinare a modelului dinamic sau static (matematic) al unui proces (sau al unui element dintr-un proces). Pentru dinamica proceselor din energetică se va folosi în articol această noțiune.

*Observație.* Prin model dinamic al unui proces se înțelege noțiunea de model matematic, nu cea de model fizic.

Noțiunea de identificare este legată indisolubil de noțiunea de experiment. Numai prin probe experimentale se poate identifica un proces. (In articol prin identificare se va înțelege identificarea experimentală, nu analitică).

Problema generală a identificării în automatică este tratată pe larg în [1].

### 1.1. *Modelul dinamic*

Se definește modelul dinamic al unui proces prin relația:

$$X_e = f(t, X_{i,1}, X_{i,2}, \ldots, X_{i,n}) \qquad (1)$$

în care

$X_e$ este mărimea de ieșire din proces;

$X_{i,1}, \ldots, X_{in}$ — mărimile de intrare în proces (se presupune, pentru generalitatea problemei, existența unui vector de intrare în procesul analizat, cu $n$ componente).

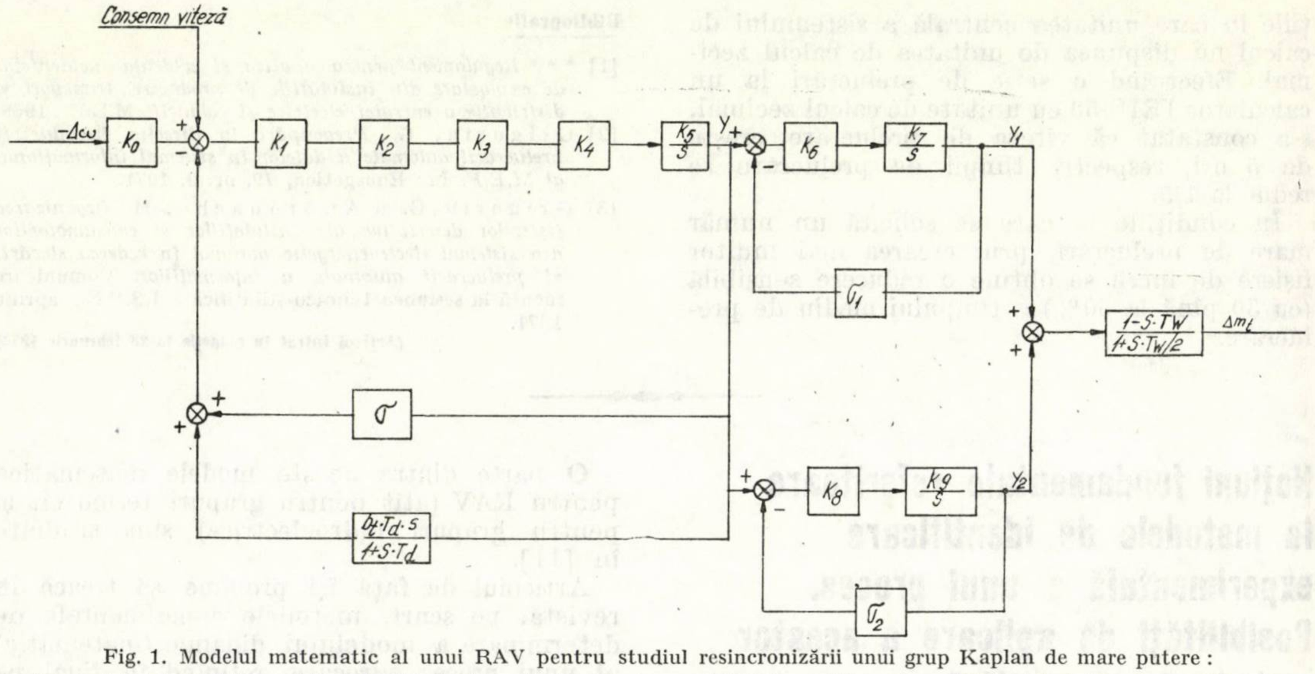



Fig. 1. Modelul matematic al unui RAV pentru studiul resincronizării unui grup Kaplan de mare putere: $k_0$ – coeficient de amplificare al traductorului de frecvență (turație); $k_1$ – coeficient de amplificare al amplificatorului electric; $k_2$ – coeficient de amplificare al convertorului electrohidraulic; $k_3$ – coeficient de amplificare al amplificatorului hidraulic; $k_4$ – coeficient de amplificare al distribuitorului auxiliar; $k_5$ – coeficient de amplificare al servomotorului auxiliar $\left(\frac{1}{k_5}\right.$ este constanta de timp a acestui servomotor$\left.\right)$; $k_6$ – factorul de amplificare al distribuitorului servomotorului aparatului director; $\frac{1}{k_7}$ constanta de timp a servomotorului aparatului director; σ, $\sigma_1$ $\sigma_2$ – statismul legăturilor inverse rigide; $bt$ – statismul legăturii inverse elastice; $Td$ – constanta de timp derivativă a legăturii inverse elastice; $k_8$ – factorul de amplificare al distribuitorului paletelor rotorice; $\frac{1}{k_9}$ – constanta de timp a servomotorului paletelor rotorice; $T_w$ – constanta de timp a șocului hidraulic în conducta de aducțiune; Δω – variația de frecvență (turație) în unități relative; $y$ – variația deplasării servomotorului auxiliar; $y_1$ – variația deplasării servomotorului aparatului director; $y_2$ – variația deplasării servomotorului paletelor rotorice; $\Delta_{mt}$ – variația cuplului activ al turbinei.

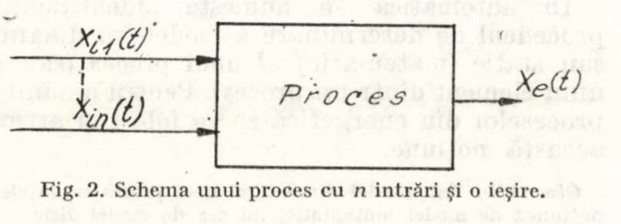



Fig. 2. Schema unui proces cu $n$ intrări și o ieșire.

Același model dinamic poate fi descris (în domeniul timpului) și sub forma ecuațiilor de stare ale procesului respectiv:

$$\begin{aligned} X_e(t_0, t) &= g[X(t_0); V(t_0, t)] \\ X(t) &= f[X(t_0); V(t_0, t)], \end{aligned} \quad (2)$$

în care

$X$ este vector de stare;
$X_e$ – vector de ieșire;
$V$ – vector de comandă;
$t_0$ – momentul inițial al procesului.

Dacă procesul este liniar sau poate fi liniarizat cu o bună aproximație (ceea ce se întîmplă cu foarte multe procese industriale), modelul dinamic poate fi scris sub formele:

$$\sum_{i=1}^{l} a_i \frac{d^i x_e}{dt^i} = \sum_{j=1}^{k} b_j \frac{d^j x_i}{dt^j} + C \quad (1')$$

sau, cu ajutorul spațiului stărilor (sub formă matricială), (2) devine (2′):

$$\begin{aligned} \dot{X}'(t) &= A(t)\cdot X(t) + B(t)\cdot V(t) \\ X_e(t) &= C(t)\cdot X(t) + D(t)\cdot V(t) \end{aligned} \quad (2')$$

în care:

$A(t)$ este matricea coeficienților;
$B(t)$ – matricea de comandă;
$C(t)$ – matricea de ieșire;
$D(t)$ – matricea de transfer;
$\dot{X}(t)$ – vectorul derivatelor variabilelor de stare $X_i$.

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix}; V = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix}; X_e = \begin{bmatrix} X_{e1} \\ X_{e2} \\ \vdots \\ X_{en} \end{bmatrix}; \dot{X} = \begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \\ \vdots \\ \dot{X}_n \end{bmatrix}$$

În energetică, majoritatea sistemelor automate sînt de tipul cu o singură mărime de in-

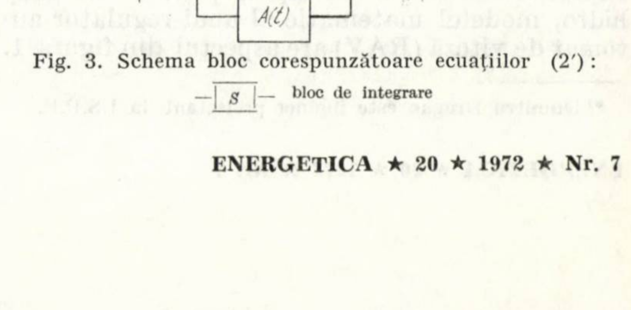



Fig. 3. Schema bloc corespunzătoare ecuațiilor (2′):
–[ S ]– bloc de integrare

trare şi ieşire, dar pentru o maşină sincronă ansamblul reglajului automat de tensiune şi de viteză poate fi asimilat cu un sistem multiintrări şi multiieşiri. De aceea forma cea mai comodă şi mai obişnuită a modelului dinamic liniarizat o constituie funcţia de transfer a procesului respectiv (modelul dinamic în spaţiul Laplace);

$$X_e(s) = Y(s) \cdot X_i(s), \quad (3)$$

unde

$$Y(s) = \frac{\sum_{j=1}^{k} b_j \cdot s^j}{\sum_{i=1}^{l} a_i \cdot s^i} \quad (3')$$

sau factorizat:

$$Y(s) = \frac{k \cdot \prod_j (1 + T_j \cdot s)}{\prod_i (1 + T_i \cdot s)}, \quad (3'')$$

$Y(s)$ fiind funcţia de transfer a procesului.

### 1.2. *Modelul static*

Se defineşte modelul static al unui proces prin relaţia:

$$X_e = f(X_{i1}, \ldots, X_{in}) \quad (4)$$

Se remarcă faptul că modelul static reprezintă un caz-limită al modelului dinamic (pentru cazul în care $\frac{dx_e}{dt} = 0$). Avînd în vedere acest fapt, nu se va mai insista asupra modelelor statice. În [1] pot fi găsite metode proprii de evaluare a modelelor statice.

### 1.3. *Tipuri de identificări*

1.3.1. *Identificarea parametrică.* Acest tip de identificare se impune atunci cînd se cunoaşte aprioric expresia analitică a modelului dinamic (de exemplu, tipul funcţiei de transfer), dar nu şi valoarea coeficienţilor acestui model. De exemplu, se ştie că funcţia de transfer a procesului este de tipul (5), dar nu se cunosc $K$, $T_1$, $T_2$, $T_3$.

$$Y(s) = \frac{K \cdot (1 + T_1 \cdot s)}{(1 + T_2 \cdot s)(1 + T_3 \cdot s)} \quad (5)$$

1.3.2. *Identificarea globală.* Acest tip de identificare se impune atunci cînd nu se cunoaşte nimic aprioric despre dinamica procesului. Identificarea globală este, evident, mult mai complexă decît cea parametrică.

## 2. Metode experimentale de determinare a modelelor dinamice

### 2.1. *Metode active* (*cu semnale de probă*)

Sînt acele metode care presupun aplicarea la intrarea în proces, peste mărimea de regim normal, a unor semnale de o anumită formă (uneori se anulează mărimile de funcţionare normală şi la intrare se aplică numai semnalul de probă).

### 2.2. *Metode pasive*

Sînt acele metode care folosesc pentru identificarea modelului dinamic variaţiile aleatorii ale mărimii de intrare şi de ieşire ce caracterizează regimul normal de funcţionare.

### 2.3. *Metode folosind modele ajustabile*

Sînt acele metode de identificare care se pretează în special proceselor dinamice. În acest caz modelul îşi modifică parametrii (sau iniţial structura), în funcţie de un anumit criteriu de comparaţie.

*Observaţie.* Orice identificare presupune următoarea succesiune de trei operaţii:
— organizarea şi realizarea experimentărilor pe proces;
— prelucrarea şi interpretarea rezultatelor determinărilor experimentale;
— obţinerea modelului dinamic (şi evaluarea gradului de aproximare).

## 3. Determinarea modelului dinamic folosind semnale de probă neperiodice

### 3.1. *Funcţia pondere*

Se numeşte funcţie pondere răspunsul unui proces la un semnal de intrare de tip impuls Dirac:

$$W(t) = \sum_{i=1}^{n} C_i \cdot e^{\alpha_i \cdot t} \quad (6)$$

$$W(t) = \mathcal{L}^{-1}[\mathcal{L}\,\delta(t)] \cdot Y(s) = \mathcal{L}^{-1}\, Y(s) \quad (7)$$

$$\mathcal{L}\, W(t) = Y(s), \quad (8)$$

în care

$W(t)$ este funcţia pondere;
$\delta(t)$ — impulsul Dirac;
$Y(s)$ — funcţia de transfer a procesului.

*Observaţie.* În realitate formulele (6), (7) şi (8) sînt teoretice, impulsul Dirac neputînd fi realizat practic. Practic se lucrează cu impulsuri de amplitudine finită.

### 3.2. *Funcţia indicială*

Se numeşte funcţie indicială răspunsul unui proces la un semnal de intrare de tip treaptă unitară.

$$h(t) = C_0 - \sum_{i=1}^{n} C_i \cdot e^{-\alpha_i \cdot t} \quad (9)$$

$$h(t) = \mathcal{L}^{-1}[\mathcal{L}_1] \cdot Y(s) = \mathcal{L}^{-1} \frac{1}{s} \cdot Y(s) \quad (10)$$

$$h(t) = \int_0^t W(t)\,dt \quad (11)$$

în care

$h(t)$ — este funcţia indicială,

iar $\mathcal{L}_1 = \int_0^\infty 1 \cdot e^{-st} \cdot dt$ este imaginea treptei unitare. (12)

*Tabelul 1*

**Clasificarea metodelor experimentale de identificare**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Metode active | Cu semnale de probă deterministe (semnale cu evoluție în timp predictibilă) | Aperiodice | Se aplică la intrare un semnal de tip treaptă. Se înregistrează variația mărimii de ieșire. Se determină funcția indicială și, pe baza ei, modelul dinamic |
| | | | Se aplică la intrare un semnal de tip impuls. Se înregistrează variația mărimii de ieșire. Se determină funcția pondere și, pe baza ei, modelul dinamic. |
| | | Periodice | Se aplică la intrare un semnal sinusoidal. Se măsoară amplitudinea și faza mărimii de ieșire, funcție de frecvența semnalului de intrare. Se determină modelul dinamic (funcția de transfer). |
| | | | Se aplică la intrare un semnal periodic complex (conținînd mai multe frecvențe) Se efectuează analiza armonică. Se determină modelul dinamic (funcția de transfer). În această categorie trebuie incluse și semnalele de probă formate din impulsuri cu durată din ce în ce mai mică |
| | Cu semnale de probă aleatorii | Aleatorii staționare | Se aplică la intrare semnale continue de forma zgomotului alb. Se determină funcțiile de corelație sau de densitate spectrală. Se determină modelul dinamic (funcția de transfer). |
| | | | Se aplică la intrare semnale de forma zgomotului binar. În continuare se procedează ca la identificarea cu zgomot alb. |
| | | Pseudoaleatorii | Se aplică la intrare semnale discontinue de tip binare, ternare. Se procedează apoi ca la identificarea cu zgomot alb. |
| Metode pasive | Folosind mărimile din funcționarea normală | | Constau în determinarea fie a funcțiilor de corelație, fie a funcțiilor densității spectrale, pe baza înregistrării variației aleatorii în regim normal de funcționare |
| Metode de identificare folosind modele ajustabile | Testarea procesului se poate efectua atît cu semnale deterministe, cît și aleatorii | | Se identifică procesul utilizînd criterii deterministe de ajustare a modelului<br>Se identifică procesul folosind criterii statistice de ajustare a modelului |

În realitate nu se lucrează cu semnale-treaptă unitară, ci cu semnale-treaptă de amplitudine finită. Evident, obținerea funcției indiciale nu comportă nici o dificultate prin raportarea răspunsului experimental la amplitudinea semnalului de intrare.

Trebuie remarcat faptul că identificarea unui proces prin testare cu semnal-treaptă nu este oportună pentru procese cu caracter accentuat integrator. În acest caz se impune utilizarea semnalului tip impuls unitar.

O problemă esențială pentru aceste metode de identificare o constituie alegerea amplitudinii semnalului de probă. Dacă amplitudinea semnalului este mare, dependența este mică în raport cu perturbațiile (raportul semnal util/zgomot este mare).

Pe de altă parte, un semnal mare poate fi periculos în cazul proceselor cu factori de amplificare ridicați. De asemenea, un semnal mare la intrare introduce posibilitatea intrării în zone neliniare, în acest caz dinamica procesului nemaiputînd fi descrisă de un model matematic liniar.

Pentru identificări utilizînd semnale de probă neperiodice, este vitală cunoașterea influenței perturbațiilor, deoarece precizia determinării modelului dinamic este puternic dependentă de nivelul acestor perturbații.

Există mai multe posibilități de eliminare a influenței negative a perturbațiilor:

a) Efectuarea unui număr mare de încercări și, prin mediere, micșorarea influenței perturbațiilor (bazîndu-ne pe faptul că valoarea medie a unor semnale aleatorii tinde spre zero, după un număr mare de încercări)

$$\bar{h}(t) = \frac{1}{l}\sum_{i=1}^{l} h_i(t), \tag{13}$$

în care $(\bar{h}t)$ este valoarea medie a funcției indiciale.

Pentru două încercări $\left(\text{cu model dinamic de tip } Y(s) = \frac{k}{1 + T\cdot s}\right)$ avem:

$$\bar{h}_2(t) = \left[\frac{(k_1 + k_2)}{2}\cdot X_e + \frac{(T_1 + T_2)}{2}\cdot\frac{\mathrm{d}X_e}{dt}\right] \tag{14}$$

b) Perturbațiile pot fi eliminate chiar din etapa experimentului, prin utilizarea unor filtre (perturbațiile de înaltă frecvență pot fi eliminate prin filtre trece-jos, dimensionate corespunzător). În general, întîrzierea semnalului datorită filtrelor nu este mare (uzual cîteva milisecunde).

Pentru identificarea cu semnale de tip treaptă sau impuls, în etapa prelucrării materialului experimental și a determinării modelului dina-

mic, sînt folosite, în general, următoarele metode :

— Metoda comparării răspunsului experimental cu răspunsuri tipizate (ale căror modele dinamice se cunosc) extrase din atlase de funcţii de timp normate. Avînd în vedere infinitatea răspunsurilor experimentale, este evident că informaţia conţinută de atlase este, de multe ori, insuficientă pentru un grad de precizie mare, dar de cele mai multe ori suficientă pentru stabilirea structurii modelului dinamic.

— Metoda aproximării curbelor experimentale prin expresii de forma soluţiilor unor ecuaţii diferenţiale cu coeficienţi constanţi (cu aproximarea că funcţia indicială $\tilde{h}(t)$ nu conţine componente oscilante)

$$\tilde{h}(t) = C_0 - \sum_{i=1}^{n} C_i \cdot e^{-\alpha_i \cdot t} \quad (15)$$

$$C_0 = \tilde{h}(\infty) = h(\infty),$$

în care $h(t)$ este răspunsul experimental.

Se calculează pentru început

$$\tilde{h}_1(t) = C_1 \cdot e^{-\alpha_1 \cdot t} = C_0 - \tilde{h}(t)$$

$$\text{unde } \tilde{h}(t) = C_0 - C_1 \cdot e^{-\alpha_i \cdot t} \quad (16)$$

Se determină prin logaritmare $C_0$ şi $\alpha_1$.

Se compară $h_1(t)$ cu $h(t)$. Dacă $h(t)$ poate fi aproximat printr-o ecuaţie diferenţială de ordinul 1, atunci diferenţa : $h_2(t) = h_1(t) - C_1 \cdot e^{-\alpha_1 \cdot t}$ este zero,

$$\text{unde } h_1(t) = C_0 - h(t).$$

Dacă în expresia (15), existînd un al doilea termen important care trebuie calculat, se determină :

$$h_2(t) = h_1(t) - C_1 \cdot e^{-\alpha_1 \cdot t} = C_2 \cdot e^{-\alpha_2 \cdot t}, \quad (17)$$

unde $\alpha_2$ şi $C_2$ se determină prin logaritmare, atunci identificarea se poate considera încheiată. Dacă nu, se va continua calculul termenilor $h_i(t)$ pînă cînd

$$h_i(t) = h_{i-1}(t) - C_{i-1} \cdot e^{-\alpha_{i-1} \cdot t} \cong 0 \quad (18)$$

— Metoda deducerii grafice, din funcţia indicială, a modelului dinamic (funcţia de transfer cu pol multiplu). Este cunoscută sub numele de metoda lui Strejc.

$$Y(s) = \frac{k}{(1 + T \cdot s)^n} \quad (19)$$

Metoda se bazează pe o serie de construcţii grafice realizate pe răspunsul indicial [1].

— Determinarea funcţiei de transfer a procesului pe baza răspunsului indicial folosind metoda suprafeţei. Admiţînd că funcţia de transfer a procesului se poate reprezenta sub forma :

$$Y(s) = \frac{k \cdot \left(1 + \sum_{i=1}^{n} b_i \cdot s^i\right)}{\left(1 + \sum_{j=1}^{m} a_j \cdot s^j\right)}, \quad (20)$$

în care coeficienţii $k$, $a_j$ şi $b_i$ pot fi determinaţi prin aşa-numita metodă a suprafeţei, care constă în calculul succesiv al suprafeţelor delimitate de curba indicială experimentală şi curbele teoretice corespunzătoare unor funcţii de transfer de ordine succesiv superioare, pînă cînd se obţine o suprafaţă nulă.

În [1] este prezentată o metodă mai simplă, în care $b_i = 0$, $k$ se consideră cunoscut şi se determină, prin metoda suprafeţei coeficienţii $a_i$. În [9] se descrie un procedeu cu ajutorul calculatorului analogic, bazat pe aceeaşi metodă a suprafeţei, în care, pe baza răspunsului indicial experimental, s-au putut obţine $k$, $b_i$, $a_j$. Pe această cale s-a determinat funcţia de transfer a RAT pentru grupul de 330 MW de la Işalniţa.

## 4. Determinarea modelului dinamic folosind semnale de probă periodice

Are avantajul că permite obţinerea directă a caracteristicii de frecvenţă.

$$Y(j\omega) = Y(\omega) \cdot e^{-j\varphi(\omega)}, \quad (21)$$

în care

$Y(\omega)$ este caracteristica amplitudine-pulsaţie ;
$\varphi(\omega)$ — caracteristica fază-pulsaţie.

Dintre metodele de obţinere a modelului dinamic din caracteristicile de frecvenţă determinate experimental, se impune metoda grafică utilizînd pante de asimptote standard.

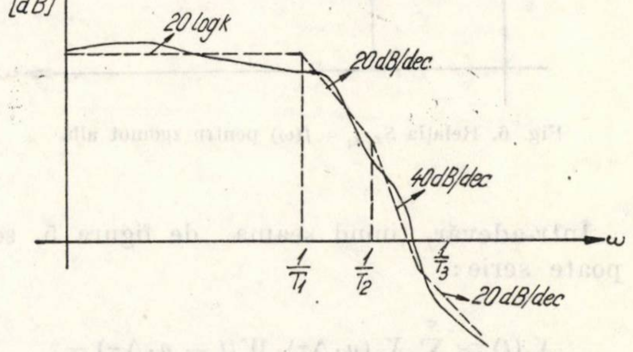



Fig. 4. Determinarea modelului dinamic al unui proces (funcţia de transfer) prin aproximarea caracteristicii $A = f(\omega)$ prin asimptote de pantă-standard :

- - - - caracteristica aproximată $\left(y = \frac{k(1 + T_2 s)}{(1 + T_1 s)(1 + T_2 s)}\right)$;

——— caracteristica reală.

## 5. Determinarea modelului dinamic cu ajutorul semnalelor aleatorii

Indiferent dacă este vorba despre metoda activă sau despre cea pasivă (ambele utilizînd

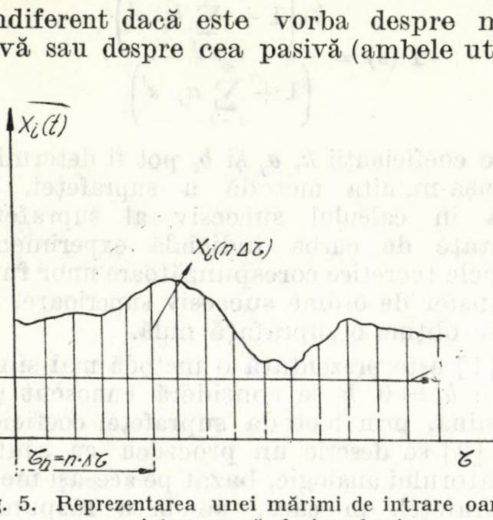


Fig. 5. Reprezentarea unei mărimi de intrare oarecare printr-o sumă de impulsuri.

semnale aleatorii), aparatul matematic utilizat de aceste metode este în esență același.

Se știe că funcția-pondere

$$W(t) = \mathcal{L}^{-1}\, Y(s) \tag{22}$$

și

$$\mathcal{L}\, W(t) = Y(s) \tag{23}$$

Pentru cazul în care $X_i$ are o variație în timp oarecare (fig. 6), ea poate fi reprezentată ca o limită a unei sume de impulsuri.

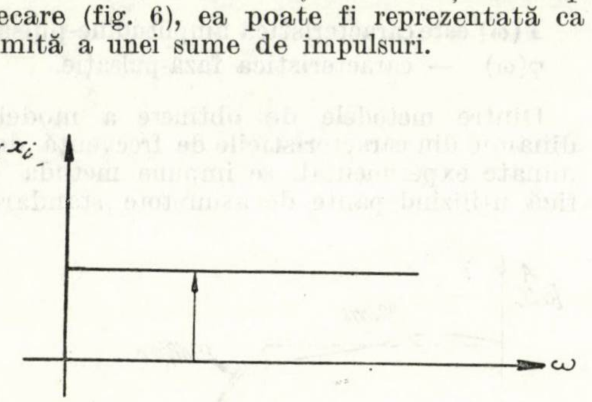


Fig. 6. Relația $S_{x_i x_i} = f(\omega)$ pentru zgomot alb.

Într-adevăr, ținînd seama de figura 5, se poate scrie:

$$X_e(t) \cong \sum_{n=0}^{N} X_i(n\cdot\Delta\tau)\cdot W(t - n\cdot\Delta\tau) =$$

$$= \sum_{n=0}^{N} X_i(\tau_n)\cdot W(t - \tau_n)\cdot\Delta\tau \tag{24}$$

Făcînd ca $\Delta\tau \to 0$ și $N \to \infty$, se obține la limită o integrală:

$$X_e(t) = \int_0^\infty X_i(\tau)\cdot W(t - \tau)\,d\tau \equiv$$

$$\equiv \int_0^\infty X_i(t - \tau')\cdot W(\tau')\,d\tau', \tag{25}$$

unde $t - \tau = \tau'$.

Așadar mărimea de ieșire a unui sistem liniar cu coeficienți constanți se poate afla prin convoluția mărimii de intrare și a funcției pondere. Integrala (25) se numește de convoluție.

În cazul în care mărimea de ieșire este definită ca suprapunerea unui semnal util (tot aleatoriu, generat intenționat de noi) și o perturbație:

$$X_e(t) = \int_0^\infty X_i(t - \tau')\cdot W(\tau)\cdot d\tau' + Xp(t), \tag{26}$$

în care

$Xp(t)$ este perturbația.

Prin definiție, funcția de intercorelație a celor două mărimi (de intrare și de ieșire) este:

$$R_{X_e X_i}(t) = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{2\cdot T}\int_{-T}^{T} X_i(t)\cdot X_e(t + \tau)\,dt \tag{27}$$

Ținînd seama de (25), (27) devine:

$$R_{X_e X_i}(t) = \int_0^\infty W(\tau')\, R_{x_i x_i}(\tau - \tau')\,d\tau' + R_{x_p x_i}(\tau), \tag{28}$$

în care

$R_{x_i x_i}$ este funcția de autocorelație a intrării;

$R_{x_p x_i}$ — funcția de intercorelație dintre perturbație și semnalul de intrare (de cele mai multe ori perturbația și semnalul de intrare sînt slab corelate).

Deci

$$R_{x_p x_i} \cong 0 \tag{29}$$

$$R_{x_i x_i}(\tau - \tau') = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{2T}\int_{-T}^{T} X_i(t - \tau')\cdot X_i(t - \tau)\,dt \tag{30}$$

Ținînd seama de (29):

$$R_{x_e x_i}(\tau) \cong \int_0^\infty W(\tau')\cdot R_{x_i x_i}(\tau - \tau')\,d\tau' \tag{31}$$

Aplicînd transformata Fourier formulei (31):

$$S_{x_e x_i}(j\omega) = Y(j\omega)\cdot S_{x_i x_i}(\omega) \quad (32)$$

în care

$S_{x_e x_i}$ este funcţia de densitate interspectrală a mărimii de intrare şi de ieşire;
$Y(j\omega)$ — funcţia de transfer a procesului;
$S_{x_i x_i}$ — funcţia de densitate spectrală a mărimii de intrare.

De aici rezultă două metode:

a) Din formula (31) se calculează funcţia pondere şi se determină modelul dinamic (în spaţiul Laplace), cunoscînd legătura dintre funcţia pondere şi funcţia de transfer a procesului.

b) Determinarea funcţiilor de densitate spectrală şi deducerea directă a funcţiei de transfer.

— *Zgomotul alb şi proprietăţile sale*

Pentru un semnal aleatoriu de tip zgomot alb avem:

$$R_{x_i x_i}(\tau) = W(\tau)$$
$$S_{x_e x_i}(j\omega) = Y(j\omega), \quad (33)$$

adică funcţia de autocorelaţie este chiar funcţia pondere, iar funcţia de densitate interspectrală este chiar funcţia de transfer dorită.

Practic se pot obţine semnale aleatorii de tip zgomot alb cu bandă de frecvenţă limitată.

## 6. Identificarea proceselor utilizînd modele ajustabile

Din punctul de vedere al scopului urmărit (identificarea unui proces) interesează mode-

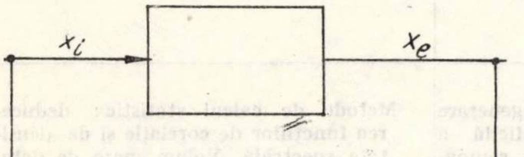



Fig. 7. Schema generală a unui model instruibil;
*1* – proces; *2* – model; *3* – comparator; *4* – dispozitiv de memorare; *5* – dispozitive de corecţie a modelului.
*Observaţie.* Pentru modele adaptive dispare blocul *4*

lele ajustabile matematice (care pot fi uşor realizate pe un calculator cifric sau analogic).

Modele ajustabile:
— unde ajustarea se face manual
— automat { adaptive; instruibile (cu memorie) }

*Problemele generale ale sintezei unui model ajustabil*

a) Alegerea structurii modelului.

b) Formularea criteriului de comparaţie a procesului cu modelul. De exemplu:

$$I = \frac{1}{T}\int_0^T [X_e(t) - \widetilde{X}_e(t)]^2\cdot\alpha(t)\,\mathrm{d}t \quad (34)$$

c) Formularea unei strategii de ajustare a parametrilor, astfel încît criteriul de comparaţie $I$ să fie minimizat în raport cu parametrii procesului:

$$I = f(p_1, p_2, \cdots, p_n) \quad (35)$$

Minimizarea se poate realiza prin metodele gradientului, Seidel-Gauss, Newton. Ea presupune satisfacerea relaţiei:

$$\frac{\partial I}{\partial p_i} = 0 \ (i = 1 \cdots n) \quad (36)$$

## 7. Metode de identificare aplicate în energetica R.S.R.

Pînă în prezent, pentru identificarea proceselor din energetică, s-au utilizat semnale de tip treaptă ce se suprapun peste cele din regim normal [7] şi [9]. Aceste semnale s-au impus din următoarele considerente:

— suprapunîndu-se peste regimul normal de funcţionare, este rezolvată cerinţa esenţială în energetică, de asigurare a siguranţei (şi deci continuitatea în alimentarea consumatorilor);

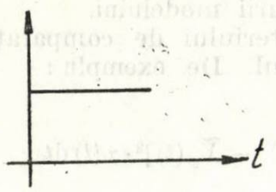
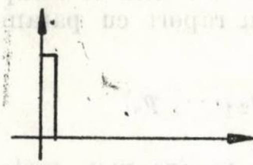
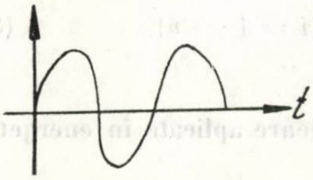
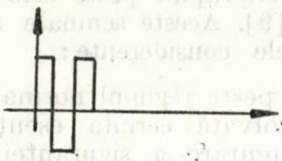
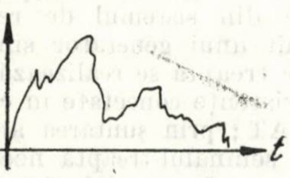
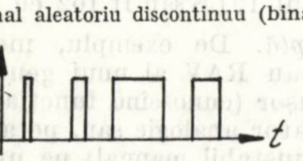
— cer o aparatură de generare simplă (de exemplu în probele din sistemul de reglare automată a tensiunii unui generator sincron, obţinerea semnalelor treaptă se realizează prin intermediul unor rezistenţe conectate în circuitul de intrare al RAT; prin şuntarea acestor rezistenţe se obţine semnalul-treaptă necesar).

Pentru înregistrarea răspunsului sistemului la perturbaţia-treaptă au fost folosite oscilografe (uzual de tipul 12LS sau H-102 cu film).

*Prelucrarea simplă.* De exemplu, modelul dinamic al RAT sau RAV al unui generator sincron se obţine uşor (cunoscînd funcţia indicială) pe un calculator analogic sau, pe acelaşi principiu (model ajustabil manual) pe un calculator cifric, avînd avantajul unei precizii

*Tabelul 2*

**Comparaţie între metodele de identificare cu semnale de probă**

| Tipul semnalului | Proprietăţi privind experimentarea | Metode de prelucrare a rezultatelor |
|---|---|---|
| Funcţia-treaptă  | Semnalul-treaptă este simplu de generat. Se poate aplica uşor la cele mai multe tipuri de procese. Rezultate simplu de interpretat. Durată mare a semnalului. Sensibilitate mare la perturbaţii. | Metoda aproximării răspunsului indicial prin soluţiile unor ecuaţii diferenţiale de ordin corespunzător. Metoda suprafeţei. Metoda lui Strejc. Metoda utilizării atlaselor de funcţii indiciale normate. |
| Funcţia-impuls  | Semnalul impuls este dificil de generat. Convenabil pentru procese cu timp tranzitoriu redus. Rezultate simplu de interpretat. Sensibilitate foarte mare la perturbaţii. | Aceleaşi ca la funcţia-treaptă (în afară de metoda suprafeţei). |
| Semnal sinusoidal  | Dificil de generat şi de aplicat, necesită aparatură complexă. Necesită timp îndelungat Precizie bună pentru procese liniare. Sensibilitate mai redusă la perturbaţii. | Se deduc caracteristicile de frecvenţă, pe baza cărora se obţine funcţia de transfer. Metoda grafică (asimptote de pantă cunoscută ce aproximează caracteristicile de frecvenţă reale). |
| Semnal periodic complex  | Relativ simplu de generat şi aplicat. Interpretarea rezultatelor este mai complicată. Durată mare a semnalului. | Deducerea caracteristicilor de frecvenţă mai dificilă, fiind necesară analiza armonică, apoi se aplică aceleaşi metode ca la semnalul sinusoidal. |
| Semnal aleatoriu continuu  | Necesită aparatură specială de generare şi aplicare. Interpretare dificilă a rezultatelor. Durată mare a semnalului. Sensibilitate mică la perturbaţii | Metode de calcul statistic: deducerea funcţiilor de corelaţie şi de densitate spectrală. Volum mare de date, ce impune utilizarea calculatoarelor cifrice. |
| Semnal aleatoriu discontinuu (binar)  | Aceleaşi ca la semnalul aleatoriu continuu. Se obţin unele avantaje prin posibilitatea folosirii tehnicii numerice | Aceleaşi ca la semnalul aleatoriu continuu. Simplificări în prelucrare se obţin folosind semnale pseudoaleatorii binare. |

mai mari, cu dezavantajul unui cost mai ridicat. Prin aceste metode au fost determinate funcţiile de transfer ale RAT de la:

— grupul de 55 MW de la CHE Argeş;
— grupul de 175 MW de la CHE Porţile de Fier;
— grupul de 110 MW de la CET Galaţi;
— grupul de 315 MW de la CET Craiova.

De asemenea, s-au determinat funcţiile de transfer ale RAV pentru grupul de 100 MW din CET Galaţi şi grupul de 175 MW de la CHE Porţile de Fier, folosind aruncări de sarcină (care conduc la apariţia în intrarea RAV a unor semnale de tip treaptă).

În timpul probelor (pe partea electrică) nu s-au observat influenţe mari ale perturbaţiilor. De aceea nu a fost nevoie de o mărire a numărului de experimentări (limitat şi din considerentul asigurării continuităţii în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor). Rezultatele obţinute cu aceste metode sînt bune [7], [9].

Amplitudinea semnalului treaptă are o mare importanţă. De exemplu, pentru RAT mai vechi (cum sînt cele ce echipează grupul de 100 MW de la Galaţi), viteza de creştere a semnalului de ieşire depinde foarte mult de amplitudinea perturbaţiei.

Pentru perturbaţii de 2% $U_{nG}$ semnalul de ieşire (tensiunea de excitaţie) prezintă chiar insensibilităţi.

Pentru RAT moderne, foarte rapide şi sensibile răspunsul nu este în funcţie de mărimea perturbaţiei (pentru perturbaţii de 2—5%$U_{nG}$ tensiunea de excitaţie intră în plafon). Pentru un semnal de 10% $U_{nG}$ este comandată forţarea excitaţiei.

În ceea ce priveşte identificarea proceselor din termoenergetica R.S.R., nu dispunem încă de date concludente. Identificarea în acest caz devine mai dificilă datorită prezenţei timpilor morţi.

Astfel, în [10] este prezentată o metodă pasivă de identificare, care prezintă în particular un interes enorm pentru energetică, deoarece foloseşte ca material experimental înregistrările din regim normal ale proceselor respective (deci cerinţa de continuitate este satisfăcută integral). Rezultatele obţinute pînă în prezent nu sînt suficient de semnificative [8] şi [10].

În viitor avînd în vedere specificul energeticii, metodele de identificare pasive se vor impune în faţa metodelor active cu semnale de probă, utilizate în prezent.

**Bibliografie**


[1] Penescu, C., Ionescu, G., Tertişco, M. şi Ceangă, E. *Identificarea experimentală a proceselor automatizate.* Editura tehnică, Bucureşti, 1972.

[2] Korn, G. A. *Măsurarea şi simularea proceselor aleatoare.* Editura tehnică, Bucureşti, 1969.

[3] Savant, C. I. *Calculul sistemelor automate.* Editura tehnică, Bucureşti, 1967 (traducere din limba engleză — S.U.A.).

[4] Balakirev, V. S. şi Dudnikov, E. G. *Eksperimentalnoe opredelenie dinamiceskih harakteristik promîşlennîh obektov upravleniia.* Izd. Energhiia, Moscova, 1967.

[5] Loeb, I. şi Cahen, G. *More about Process Identification.* În: I.E.E.E.Trans. on Autom. Control, 10 iul., 1965.

[6] Lindenlaub, I. C. şi Cooper, G. R. *Noise Limitations of System Identification Techniques.* In: I.E.E.E. Trans. on Autom. Control, 8 ian. 1964.

[7] Ionescu, S., Ungureanu, B., Nica, A., Seliski, A. şi Gheorghe, O. *Studiul comportării sistemului de reglare a tensiunii la un hidrogenerator.* În: Energetica, nr. 4, 1968.

[8] Arie, E. Studii şi cercetări de energetică şi electrotehnică, vol. 13, nr. 1, 1963.

[9] Drăgan, D. şi Nicolae, N. *Determinarea parametrilor funcţiei de transfer echivalente a ansamblului regulator automat de tensiune— excitaţie, cu ajutorul calculatorului analogic.* În: Energetica, nr. 10, 1970.

[10] Cautiş, D. şi Moga, S. *Un procedeu de identificare statistică pasivă a proceselor dinamice din energetică.* În: Energetica, nr. 10, 1970.

[11] * * * *Questionary on the Characteristics and Performance of the Turbine Speed Governors.* GIGRE — Study committee 32 — working groupe C 1. December 28t-h 1970.

[12] Ionescu, G. *Identificarea în sistemele automate.* In: AMC, nr. 12, 1969.


**(Articol intrat în redacţie la 10 martie 1972)**

# Pilele cu combustibil—surse moderne de energie electrică

**M. Mavrodin-Tărăbîc, I. Onaca şi I. Solacolu**[*)]

Ideea de a nu mai transforma energia chimică a combustibililor cu ajutorul maşinilor termice în energie electrică, ci de a efectua această conversie direct în pile electrice speciale şi de a capta energia sub formă de electricitate şi nu de căldură, a fost propusă încă în 1894, de Ostwald. Timp de 60 de ani încercările făcute de specialişti de talia lui Nernst, Haber [1], Baur [2] şi a colaboratorilor lor nu au dat rezultatele aşteptate; în ultimii ani însă s-au făcut progrese remarcabile în acest domeniu.

Pila cu combustibil face parte din sursele convenţionale de energie, adică în ea — spre deosebire de reactorul nuclear — energia nu se eliberează prin distrugerea materiei, ci are loc numai o transformare de energie, care poate fi ilustrată în schemele din figura 1.

Procesul termic (fig. 1 *a*), caracteristic pentru centralele termoelectrice, comportă o primă fază în care energia chimică apărută din reacţia $C + O_2 = CO_2$ se transformă integral în energie calorică prin combustie obişnuită. Energia calorică, energie de calitate inferioară, este transformată prin intermediul maşinilor ter-

*) Maria Mavrodin-Tărăbîc, Ioana Onaca şi Ion Solacolu lucrează la Centrul de chimie-fizică, Bucureşti.

mice în energie mecanică cu un randament destul de scăzut. Transformarea aproape fără pierdere a energiei mecanice în energie electrică cu ajutorul maşinilor electrice nu prezintă nici un

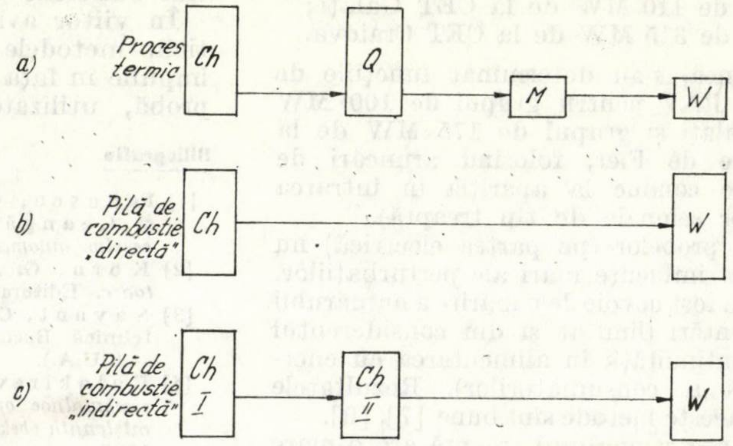



Fig. 1. Schemele diferitelor procedee de transformare a energiei chimice în energie electrică.

fel de dificultate principială. Neajunsul principal al acestei scheme de transformare a energiei chimice în energie electrică este trecerea prin energia calorică, energie de calitate inferioară.

Una dintre căile de înlăturare a acestui neajuns a fost propusă de Ostwald şi este denumită astăzi „pila de combustie cu funcţionare directă" (fig. 1), în care energia electrică este obţinută direct din reacţia de oxidare a combustibililor convenţionali. Acest procedeu de conversie a energiei chimice în energie electrică nu a fost realizat practic pînă în prezent.

Schema *c* din figura 1 arată principiul care stă la baza conversiei energiei în aşa-numitele „pile de combustie cu funcţionare indirectă", caracterizate prin utilizarea unui combustibil secundar, mai adecvat acestui scop, cum ar fi gaze mai uşor oxidabile (hidrogen sau oxid de carbon) sau lichide (alcooli sau fracţiuni petroliere). În această schemă nu se poate evita o anumită pierdere de energie pentru transformarea unui combustibil primar într-unul secundar, cu ajutorul unei reacţii intermediare, ca, de exemplu, gazeificarea cărbunilor. Acest tip de pile cu combustibil a fost realizat practic într-un număr mare de variante şi cu rezultate economice bune.

Sistemele de pile cu combustibil cunoscute utilizează, în general, ca electroliţi :

— electrolit apos (acid sau alcalin),

— membrană poroasă îmbibată cu soluţia de electrolit,

— membrane schimbătoare de ioni,

— topituri (amestecuri de cloruri, hidroxizi, carbonaţi alcalini sau amestecuri păstoase pe bază de oxid de magneziu),

— electrolit solid pe bază de bioxid de zirconiu.

O problemă deosebit de importantă este realizarea unor sisteme de electrozi cu eficienţă maximă în reacţia de obţinere a curentului electric. S-au utilizat drept electrozi :

— electrozi poroşi din metal sau cărbune, în cazul folosirii unor combustibili gazoşi ;

— electrozi neporoşi, metalici, în cazul folosirii unor combustibili lichizi sau dizolvaţi în electrolit.

Combustibilii utilizaţi pentru obţinerea energiei electrice în pile sînt :

— combustibili primari (cărbune, fracţiuni petroliere, gaz metan) ;

— combustibili secundari (hidrogen, oxid de carbon, amoniac, hidrazină, amalgam de sodiu, hidruri metalice, alcooli, aldehide, hidrocarburi nesaturate).

Ca oxidant pilele cu combustibil utilizează oxigen sau aer.

În tabelul 1 sînt prezentate principalele tipuri de pile cu combustibil realizate pînă în prezent, parametrii tehnologici de funcţionare ai acestora, performanţele caracteristice şi randamentele de conversie a energiei chimice în energie electrică realizate.

După cum se constată din datele prezentate în tabelul 1, tensiunile nominale ale diferitelor tipuri de pile cu combustibil nu depăşesc, în general, valoarea de 1 V ; pentru a se obţine tensiuni de lucru acceptabile, este necesară legarea în serie a unui număr corespunzător de astfel de celule. Aceasta provoacă o creştere a rezistenţei montajului respectiv, ca urmare a însumării rezistenţelor interne ale fiecărei celule şi deci valorile curenţilor obţinuţi nu vor fi prea mari, ceea ce face necesară legarea în paralel a unor seturi de pile cu combustibil legate în serie.

Avantajul deosebit pe care pilele cu combustibil îl prezintă ca sursă de energie electrică constă în randamentul ridicat realizat la con-

*Tabelul*

**Parametrii tehnologici de funcţionare, caracteristicile electrice şi randamentele de obţinere a energiei electrice în principalele tipuri de pile cu combustibil**

| Tipul de pildă cu combustibil | Parametrii de funcţionare | | Electrolit | Combustibil | Oxidant | Electrozi | Caracteristici electrice | Puterea specifică | | Randament de conversie |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Presiune | Temperatură | | | | | | kg/kW | $m^3$/kW | |
| Cu electrozi de cărbune după K. Kordesch [3] | scăzută | 35–80°C | hidroxid de potasiu 30–35% | hidrogen curat | oxigen aer | electrozi de cărbune impregnaţi cu catalizator hidrofobizaţi | 25–50 mA/$cm^2$(aer) 100 mA/$cm^2$($O_2$) 0,75 V | 10–40 | 0,02–0,03 | 0,6–0,7 |
| Cu membrană schimbătoare de ioni, după L. W. Niedrach [4] | scăzută | 20–80°C | membrană schimbătoare de ioni cationică | hidrogen curat | oxigen aer | electrozi de platină poroasă | 50 mA/$cm^2$ 0,7V | 23 | 0,02–0,03 | 0,6 |
| Cu electrozi de tip DSK, după E. Justi şi A. Winsel [5] | pînă la 2 atm | 20–85°C | hidroxid de potasiu 30–35% | hidrogen | oxigen aer | electrozi de tip DSK anod nichel, catod argint | 100mA/$cm^2$ 0,6–0,9V | 50 | 0,025 | 0,7 |
| Cu amalgam, după E. Yeager [6] | scăzută | 60°C | hidroxid de potasiu 30–35% | amalgam de sodiu 0,5% | | anod din oţel şi amalgam | 400 mA/$cm^2$ 1,4 V | 50 | 0,03 | 0,6 |
| Cu hidrocarburi, după H.A.Leibhafsky [7] | scăzută | 90–150°C | acid sulfuric sau acid fosforic 30% | propan sau alte hidrocarburi | | electrozi de platină poroasă | 15–90 mA/$cm^2$, 0,5 V | | | 0,6 |
| Cu electrozi de nichel cu dublu strat, după F. T. Bacon [8] | 20–40 atm | 200–250°C | hidroxid de potasiu 50% | hidrogen curat | oxigen | anod din nichel poros, catod poros Ni–NiO | 700 mA/$cm^2$ 0,8 V | 5,5 | 0,003 | 0,6 |
| Cu electrolit topit, după G.H.Broers, J.A.Ketelaar, H. H. Chambers [9] | scăzută | 550–800°C | amestec eutectic de carbonaţi şi oxid de magneziu | hidrogen, hidrocarburi CO şi $CO_2$ | aer | electrozi din Fe, Ni, Cu Ag/ZnO | 50–70 mA/$cm^2$, 0,75 V | 50 | 0,025 | 0,7 |
| Cu electrolit solid, după J. Weissbart şi şi R. Ruka [10] | scăzută | 800–1000°C | bioxid de zirconiu cu cu 15% oxid de calciu sau ytriu | hidrogen, hidrocarburi | aer | electrozi de platină | 50 mA/$cm^2$ | 5 | 0,01 | |

versia energiei chimice în energie electrică, a cărui valoare este de 0,6–0,7.

Pilele cu combustibil — procedeu modern de obținere a energiei electrice — reprezintă o revoluție tehnică în acest domeniu, dar aplicarea lor în practică este limitată în prezent de prețul de cost relativ ridicat al energiei electrice obținute și se reduce la acele domenii în care nu poate fi concurată de procedeele clasice ieftine. În prezent domeniile cele mai importante de aplicare a pilelor cu combustibil sînt :

— surse de energie electrică de mică putere, care prezintă avantaje deosebite, cum ar fi : absența zgomotului, absența produșilor de ardere, reducerea poluării mediului. Aceste generatoare se caracterizează printr-o greutate redusă (aproximativ 5 kg/kW energie produsă) și putere destul de mare, pînă la 100 kW ;

— generatoare electrice de putere medie (putere nominală pînă la cîțiva megawați) care au perspective de utilizare în propulsia vehiculelor terestre și a navelor ;

— generatoare electrice pentru propulsarea submarinelor. Propulsarea submarinelor cu ajutorul unor motoare acționate pe baza energiei electrice furnizate de acumulatoare clasice nu permite imersarea pe o perioadă mai lungă ; soluția nucleară — singura care pînă în prezent permite scufundarea de lungă durată — prezintă dezavantajul folosirii unor agregate grele și producerea de reziduuri radioactive. Utilizarea unor pile cu combustibil rezolvă cu succes inconvenientele enumerate, făcînd posibilă realizarea de submarine de tonaj mediu și mic cu perioadă lungă de imersare ;

— utilizări spațiale ; programele NASA au folosit sisteme de pile cu combustibil $H_2/O_2$ cu putere de 2 kW pentru alimentarea cu energie electrică a capsulelor de tip Gemini și Apollo ; totodată s-a rezolvat cu succes problema alimentării cu apă a echipajelor navelor în spațiul extraterestru ;

— utilizări în tehnica militară, la propulsarea electrică a vehiculelor terestre, care prezintă o serie de avantaje, cum ar fi : absența zgomotului, mărirea gradului de independență în deplasare prin reducerea tonajului de carburant consumat, posibilitatea de deplasare în condiții de teren grele.

În concluzie, pilele cu combustibil — generatoare electrice cu un randament de conversie a energiei net superior generatoarelor clasice — prezintă perspective tehnice de aplicare, în principiu, în toate sectoarele industriale în care este necesar consumul de energie electrică. În prezent, aplicațiile lor se limitează la acele domenii în care ele prezintă avantaje tehnice și economice față de concurenții lor direcți — mașinile termice și generatoarele clasice de energie electrică.

**Bibliografie**


[1] Chang, S.S.L. *Conversion de l'énergie.* Dunod, Paris, 1966, p. 7.

[2] Baur, E. și Tobler, J. *Brennstoffketten.* În : Z. Electrochem., 39, 1933, p. 169.

[3] Kordesh, K. V. *Hydrocarbon Fuel Cell Tehnology.* În : Symp. Am. Chem. Soc. Atlantic City, 1965, p. 17.

[4] Niedrach, L. W. și Alford, H. R. *A New High Performance Fuel Cell.* În : J. Electrochem. Soc., 112, 1965, p. 117.

[5] Justi, E. și Winsel, A. *Kalte Verbrenung* F. Steiner, Wiesbaden, 1962.

[6] Yeager, E. *Fuel Cells.* Academic Press, New York, 1963, p. 299.

[7] Hart, A. B. și Womack G. J. *Fuel Cells.* Champman and Hall, London, 1967, p. 154.

[8] Bacon, F. T. și Mech A.M.J. *Fuel Cells.* Reinhold Publ. Corp, New York, 1960, p. 51.

[9] Broers, G. J. și Ketelaar, J. A. *Fuel Cells.* Reinhold Publ. Corp, New York, 1960, p. 78.

[10] Weissbart, J. și Ruka, R. A *Solid Electrolyte Fuel Cells.* În : J. Electrochem. Soc,. 109, 1962, p. 723.


**(Articol intrat în redacție la 17 februarie 1972)**

# CRONICĂ

## ŞEDINŢA COMITETULUI EXECUTIV AL C.C. AL P.C.R.

La 22 mai 1972, în şedinţa Comitetului Executiv al Comitetului Central al P.C.R., prezidată de tovarăşul Nicolae Ceauşescu, secretar general al Partidului Comunist Român, a fost examinat raportul Comisiei de Stat de analiză a funcţionării sistemului energetic naţional, instituită pe baza hotărîrii Comitetului Executiv din 19 octombrie 1971, privind îmbunătăţirea activităţii în industria energiei electrice şi creşterea gradului de siguranţă în funcţionarea sistemului energetic şi s-a aprobat programul de măsuri prezentat în acest scop.

Expresie a atenţiei acordate de conducerea de partid şi de stat sectorului energetic al ţării, măsurile preconizate şi indicaţiile date în şedinţă, referitoare la principalele direcţii în care trebuie acţionat şi problemele asupra cărora trebuie să se concentreze atenţia organizaţiilor şi a lucrătorilor din acest sector important al economiei, constituie programul de bază al activităţii viitoare de producere, transport, distribuţie şi folosire a energiei electrice şi termice. Acest program, avînd rolul de a elimina neajunsurile ce există şi de a îmbunătăţi întreaga activitate din industria energiei electrice şi termice, cuprinde în principal următoarele sarcini:

— folosirea integrală a capacităţilor energetice existente în sistem şi o mai bună exploatare a puterii instalate;

— efectuarea la timp şi în condiţii corespunzătoare a lucrărilor de întreţinere şi reparaţii, asigurarea pieselor de schimb necesare;

— axarea întregii activităţi a unităţilor producătoare de energie electrică şi termică, de transport şi distribuţie şi a institutelor de cercetare pe îndeplinirea sarcinilor exploatării şi întreţinerii în condiţii optime a instalaţiilor şi a utilajelor sistemului energetic naţional;

— asigurarea unei concepţii şi conduceri unitare a sistemului energetic naţional, pînă la consumatori inclusiv, aplicarea şi respectarea normativelor tehnice privind realizarea, întreţinerea, reparaţia şi exploatarea instalaţiilor proprii ale consumatorilor, corelat cu cele de producere, transport şi distribuţie a energiei electrice şi termice ale sistemului energetic naţional;

— introducerea unei discipline riguroase în executarea la timp şi în condiţii corespunzătoare a lucrărilor, a conducerii agregatelor şi instalaţiilor, creşterea operativităţii în lichidarea avariilor, organizarea asistenţei tehnice şi a unui control exigent şi eficient asupra modului de funcţionare a întregului sistem energetic;

— îmbunătăţirea calităţii utilajelor, a echipamentelor şi a materialelor utilizate în sistemul energetic, stabilirea unor reguli stricte privind recepţionarea exigentă a utilajelor livrate din producţia internă şi din import;

— ridicarea nivelului profesional al tuturor cadrelor ce lucrează în sectorul energetic, asigurarea de cadre calificate prin înfiinţarea de şcoli profesionale şi licee de specialitate şi îmbunătăţirea pregătirii inginerilor energeticieni în învăţămîntul superior.

Realizarea integrală a măsurilor preconizate, îmbunătăţirea activităţii în sectorul energetic la nivelul sarcinilor trasate de conducerea de partid şi de stat trebuie să constituie preocuparea principală a tuturor unităţilor de exploatare, concepţie, cercetare, construcţii-montaj, precum şi a celor ce utilizează energia electrică şi termică, a tuturor lucrătorilor din acest domeniu.

În realizarea acestor sarcini de mare amploare, un rol important revine activităţii de informare şi documentare a lucrătorilor din sectorul energetic, pe linia transmiterii cunoştinţelor acumulate.

Revistei „Energetica" îi revine sarcina unei activităţi sporite, susţinute şi mai eficiente în acest scop, prin prezentarea şi dezbaterea, la un înalt nivel, a problemelor teoretice şi practice de proiectare, execuţie, exploatare şi reparare a instalaţiilor energetice, de valorificare optimă a capacităţilor şi a rezervelor energetice, de utilizare raţională a energiei, de organizare şi de conducere ştiinţifică a unităţilor din sistemul energetic.

# Recenzii

PAUL DIMO, G. MANOLESCU, I. IORDĂNESCU, A. CRISTOVICI, L. GROZA, S. IONESCU, B. UNGUREANU, H. ALBERT, GH. MORAITE, N. CHIRCULESCU. Calculul şi proiectarea sistemelor electroenergetice, 436 p., 132 fig., 21 tabele, 321 ref. bibl. Editura tehnică, Bucureşti, 1971.

Autorii lucrării, cunoscuţi specialişti din sectorul energetic de proiectare, îşi propun să comunice experienţa acumulată în ultimii 20 de ani în cadrul I.S.P.E., al Institutului de energetică al Academiei R.S.R. şi al ICENERG, în studiul şi proiectarea sistemului electroenergetic român, prezentînd cele mai importante probleme pe care le pune dezvoltarea unui sistem electroenergetic modern.

Sînt definite şi prezentate teoretic, cu aplicaţii practice la sistemul electroenergetic român, o serie de probleme, considerate ca cele mai importante în funcţionarea şi dezvoltarea unui sistem electroenergetic, ţinîndu-se seama atît de aspectele noi ale acestor probleme, cît şi de tendinţele moderne de rezolvare a lor, în special în legătură cu folosirea echipamentelor.

După un capitol introductiv (cap. 1), în care se arată evoluţia sistemului electroenergetic român, se prezintă următoarele probleme, organizate în capitole separate :

— Principii fundamentale de organizare a studiului sistemelor electroenergetice (cap. 2).

— Determinarea schimbului de putere între zone (cap. 3).

— Configuraţii de sisteme şi principii de funcţionare (cap. 4).

— Problema puterii reactive şi a reglajului de tensiune (cap. 5).

— Tratarea neutrului şi coordonarea izolaţiei (cap. 6).

— Linii electrice aeriene şi în cablu (cap. 7).

— Regimul staţionar al sistemelor electroenergetice (cap. 8).

— Stabilitatea statică (cap. 9).

— Regimuri accidentale şi nesimetrice în funcţionarea reţelelor de înaltă tensiune (cap. 10).

— Regimuri dinamice şi problema evitării extinderii incidentelor de exploatare (cap. 11).

— Probleme privind alimentarea cu energie electrică a consumatorilor industriali (cap. 12).

— Metodologia calculelor tehnico-economice comparative în domeniul sistemelor electroenergetice (cap. 13).

— Problema generală a pierderilor în sistemele electroenergetice (cap. 14).

— Noi tehnici în dialogul om-maşină pentru studiul comportării reţelei. Dezvoltări ale analizei nodale. Vizualizarea (cap. 15).

— Interconexiunea sistemelor energetice şi probleme speciale (cap. 16).

După ce se definesc elementele sistemului electroenergetic şi se arată care sînt informaţiile necesare pentru fundamentarea studiului, în finalul cap. 2 se stabileşte o schemă privind organizarea studiului dezvoltării unui sistem energetic, adoptîndu-se următoarele etape principale :

— prognoza consumului de putere şi energie electrică ;

— prognoza consumului de căldură ;

— structura centralelor electrice ;

— structura reţelelor electrice de transport ;

— structura reţelelor de distribuţie ;

— sinteza tehnico-economică generală.

Pentru fiecare etapă a studiului sînt indicate categoriile de informaţii necesare fundamentării studiului, metodele de calcul şi modelele matematice considerate de autori drept cele mai indicate pentru rezolvarea diferitelor probleme şi criteriile de optimizare sau condiţiile tehnico-economice ce trebuie respectate în rezolvarea acestor probleme.

Capitolul 3 tratează stabilirea fluxurilor de puteri care trebuie să circule între diferitele zone geografice ale teritoriului, ca urmare a balanţelor consumurilor probabile stabilite în fiecare zonă şi a programului de dezvoltare a producerii energiei electrice, respectiv a centralelor. Evident, stabilirea acestor fluxuri este în primul rînd funcţie de incidentele care pot apărea în instalaţii şi, ca atare, ipotezele de incidente ce se adoptă prezintă o deosebită importanţă.

În finalul capitolului se prezintă cîteva categorii de ipoteze ce pot fi luate în considerare şi se precizează că aceste ipoteze variază în funcţie de condiţiile energetice locale şi de gradul de siguranţă care trebuie adoptat în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor.

Capitolul 4 este rezervat configuraţiei sistemelor şi principiilor de funcţionare a acestora, prezentîndu-se diferitele categorii de linii şi tipuri de staţii, precum şi caracteristicile echipamentului şi mijloacele de reglaj din staţii.

Problema puterii reactive şi a reglajului tensiunii, care formează obiectul capitolului 5, este tratată sub toate aspectele, pornind de la criteriile şi condiţiile ce stabilesc nivelurile de tensiune şi benzile de variaţie admisibile şi pînă la diferitele soluţii folosite pentru reglajul tensiunii.

Capitolul 6 prezintă tratarea neutrului şi a coordonării izolaţiei din punctul de vedere al fenomenelor ce se produc şi al diferitelor probleme particulare care se pun, precum şi al modului de studiere şi de rezolvare în sistemul electroenergetic al R. S. România.

Capitolul 7 tratează liniile electrice aeriene şi în cablu sub aspectul alegerii parametrilor de proiectare, ţinînd seama de faptul că ele reprezintă elemente integrate ale sistemului.

Capitolul 8 este rezervat studiului regimului staţionar al sistemului electroenergetic, în vederea selecţionării şi determinării cu ajutorul calculatoarelor a celor mai interesante regimuri de funcţionare ale acestuia. Tendinţei actuale de utilizare a unor programe de calcul generale, cu ajutorul cărora să se poată caracteriza diferitele stări ale reţelelor, i s-a făcut un loc larg în I.S.P.E., unde s-au elaborat numeroase asemenea programe de calcul, în special bazate pe metoda originală românească a analizei nodale (DIMO).

În finalul capitolului sînt arătate pe scurt şi rezultatele obţinute prin aplicarea unor asemenea algoritme şi programe elaborate de I.S.P.E., la sistemul electroenergetic român.

Capitolul 9 se referă la problema stabilităţii statice, prezentîndu-se procedeele de calcul ale celor trei trepte de selecţie a regimurilor, precum şi evoluţia, stadiul actual şi aspectele încă neclarificate ale acestei probleme (în special corelarea cu stabilitatea dinamică).

Capitolul 10 tratează regimurile accidentale şi nesimetrice în funcţionarea reţelelor de înaltă tensiune. Studierea acestor regimuri are o deosebită importanţă, atît în ceea ce priveşte organizarea generală a reţelei, a planului şi a instalaţiilor de protecţie, cît şi unele probleme speciale, cum sînt tratarea neutrului, influenţa perturbatoare asupra liniilor de telecomunicaţii etc.

După prezentarea metodelor şi a mijloacelor de calcul al regimurilor nesimetrice, se arată importanţa curenţilor de scurtcircuit şi elementele care au permis stabilirea plafoanelor puterii de scurtcircuit în sistemul electroenergetic român pentru etapa 1975 (6 000 MVA la 110 kV, 12 000 MVA la 220 kV, 20 000 MVA la 400 kV).

De asemenea sînt descrise foarte interesantele încercări şi experienţe făcute „pe viu", în cadrul sistemului electroenergetic, cu privire la nesimetrii (transversale şi longitudinale).

Finalul acestui capitol conţine concluziile studiilor şi încercărilor făcute, concretizate în măsuri de exploatare şi de proiectare.

Capitolul 11 se referă la problema stabilităţii dinamice şi a evitării extinderii incidentelor de exploatare. După caracterizarea regimurilor dinamice sînt

indicate procedeele de analiză şi de selecţie a regimurilor dinamice periculoase, precum şi un procedeu de calcul al stabilităţii dinamice, avînd-se în vedere fenomenele tranzitorii din maşinile sincrone şi asincrone şi influenţa reglajelor automate. În sfîrşit, se arată cum pot fi folosite în diferitele procedee tehnicile de calcul moderne (calculatoare numerice şi hibride).

Capitolul 12 este rezervat alimentării cu energie electrică a consumatorilor industriali, problemă deosebit de actuală şi de importanţă, dat fiind gradul ridicat de siguranţă care trebuie asigurat în alimentarea unora dintre consumatori. Se studiază şi se analizează aspectele care permit alegerea corectă a schemelor de alimentare cu energie electrică a consumatorilor, precum şi unele probleme de relaţii între unităţile de reţele şi consumatori.

Capitolul 13 expune metodologia calculelor tehnico-economice comparative în domeniul proiectării sistemului electroenergetic. Pe lîngă teoriile privind stabilirea eficienţei economice a investiţiilor, este descrisă şi metodologia aplicată de I.S.P.E. în cadrul legal al reglementărilor din R.S.R.

Problema generală a pierderilor în sistemul electroenergetic formează obiectul capitolului 14. Sînt analizate pierderile de putere în diferitele categorii de instalaţii ale sistemului, posibilităţile de stabilire prin calcul şi căile de reducere a lor.

Capitolul 15 este rezervat noilor tehnici în dialogul om-maşină pentru studiul comportării reţelei, precum şi unor dezvoltări ale analizei nodale, în mod special vizualizarea.

Consolele de vizualizare cu care pot fi prevăzute astăzi calculatoarele oferă posibilităţi de reprezentare geometrică sugestivă a diferitelor elemente ce se cercetează sau se urmăresc. Este descrisă şi o aplicaţie a acestei posibilităţi prin asocierea permanentă a două grafuri denumite ,,Scheme REI şi imaginea nodală'', bazate pe metoda românească de cercetare ,,analiza nodală''. Aspectul acestor două figuri şi posibilităţile lor de transformare permit examinarea intuitivă a comportării nodurilor reţelei atît în regimuri staţionare cît şi în regimuri dinamice.

În cadrul acestei aplicaţii se prezintă realizarea românească aflată în stadiul de instalaţie-pilot, constînd dintr-un ecran de vizualizare şi un pupitru de editare a figurilor, denumit *anagraf* (analiză grafică).

Capitolul 16, ultimul, tratează interconexiunea sistemelor electroenergetice şi unele probleme speciale. După ce se arată avantajele interconexiunii sistemelor şi soluţiile de funcţionare în comun, se discută unele probleme speciale care apar ca urmare a acestei interconexiuni (mărirea puterilor de scurtcircuit, probleme de stabilitate statică şi dinamică etc.), exemplificîndu-se apoi două asemenea interconexiuni europene : cea a sistemelor statelor membre CAER şi ,,optul electric'' (Anglia, Olanda, Luxemburg, R. F. a Germaniei, Franţa, Italia, Austria şi Elveţia).

După cum s-a putut vedea din succinta prezentare a conţinutului, lucrarea oferă un tablou general al sistemului electroenergetic, în accepţiunea modernă a acestei noţiuni, cu principalele sale probleme şi soluţiile ce se aplică în rezolvarea acestora, insistîndu-se de fiecare dată asupra modului de rezolvare în cadrul sistemului electroenergetic românesc, precum şi cu aspectele noi care apar şi tendinţele de rezolvare a tuturor problemelor importante ridicate de funcţionarea şi proiectarea sistemelor.

Este demn de remarcat faptul că pentru rezolvarea numeroaselor, variatelor şi complexelor probleme pe care le pun funcţionarea şi dezvoltarea unui sistem electroenergetic, alături de aplicare celor mai noi metode şi procedee existente pe plan mondial, contribuţia originală, românească, a valorosului colectiv de specialişti de la I.S.P.E. şi ICENERG este deosebit de bogată. Aceste aspecte, care caracterizează de fapt cel mai bine lucrarea, precum şi rolul pe care această lucrare îl poate avea în formarea de noi cadre de specialişti pentru energetica românească, sînt subliniate în cuvîntul introductiv al ministrului Energiei Electrice, ing. O. Groza.

Lucrarea, foarte completă şi documentată, elaborată la o înaltă ţinută ştiinţifică, sub coordonarea cunoscutului specialist român dr. doc. ing. Paul Dimo, este deosebit de utilă tuturor inginerilor şi tehnicienilor din ramura energetică.

c. m.

# Informaţii tehnice

Prima centrală nucleară comercială suedeză, Oskarshamn I, de 440 MW, a intrat în exploatare la sarcina nominală în septembrie 1971. Această centrală este amplasată la Simpevarp, pe coasta de est. O a doua unitate, de 580 MW, este prevăzută pentru Oskarshamn, care va intra în serviciu în 1974.

În Spania au intrat în funcţiune între anii 1971 şi 1973 26 noi centrale electrice, din care : 13 centrale hidroelectrice, 11 centrale termoelectrice şi 2 centrale nucleare. Printre centralele termoelectrice este şi cea din Castellon de 1083 MW (cea mai mare putere instalată), care consumă combustibil lichid. Centralele nucleare sînt cea de la Vandellos de 500 MW şi de la Santa Maria de Garona de 460 MW.

*(ETZ – B, nr. 24, 1971, p. 622–623)*

Stol-Laval din Suedia furnizează pentru centrala Krems din Austria o turbină cu gaz de 70 MW pentru acoperirea vîrfului de sarcină, care va lucra cu gaze naturale cu un număr de 500 ore pe an.

La centrala termoelectrică engleză de la Fawley-Southampton s-a instalat un cablu de 400 kV cu răcire cu apă. Această soluţie a fost aleasă din considerații estetice, pentru a se evita linia aeriană. La sarcina maximă se produce o cantitate atît de mare de căldură, încît este necesară răcirea.

Centrala nucleară Würgassen — R. F. a Germaniei a furnizat la 18 decembrie 1971 energie electrică în reţeaua publică. Avînd o putere finală de 670 MW, centrala a intrat în funcţiune cu o putere de 100 MW.

*(Elektrizitätswirtschaft, nr. 1, 1972, p. 14–20)*

Comisia de stat a energiei din Suedia a cerut oferte pentru o centrală nucleară de 800 MWe cu reactor cu apă fierbinte ce se va construi la Forsmark la 160 km nord de Stockholm. Centrala va cuprinde patru blocuri ce vor intra în serviciu în 1976 şi 1978.

Westinghouse Electric Corporation, împreună cu A. B. Monitor — Suedia, furnizează instalaţia de abur şi elementele combustibile nucleare pentru o centrală nucleară de 900 MW de la Ringhals, la 60 km sud de Göteborg. La Ringhals este în curs de construcţie o centrală nucleară de 830 MW, care va intra în serviciu în 1974. Sînt prevăzute reactoare cu apă sub presiune.

La conferinţa pentru folosirea energiei nucleare în scopuri paşnice, ţinută la Geneva, s-a prezentat o construcţie engleză pentru un reactor cu

temperatură înaltă, care reprezintă o dezvoltare a reactorului AGR, folosind însă heliu în loc de bioxid de carbon ca mediu de răcire. Heliul iese din reactor cu o presiune de 44,8 bar şi 729°C şi produce abur la 159,6 bar şi 538/538°C. Elementele combustibile ceramice rezistă la temperatura de 2000°C. Randamentul total realizat este de 40 %, iar puterea netă cu 45 % mai mare ca la AGR.

Commonwealth Edison a comandat la Westinghouse două reactoare de 1100 MWe, inclusiv prima şarjă de combustibil nuclear. Costul se apreciază a fi de 310 $ /kW.

*(Energie, nr. 1, 1972, p. 23)*

A început construcţia primei centrale nucleare din Austria de 723,5 MW, amplasată lîngă Zwentendorf, pe Dunăre. Costul total va fi de 5,1 miliarde şilingi şi va fi gata în august 1976. Rezervorul de presiune se construieşte de Sulzer (Elveţia), Breda (Italia) şi Vöst-Linz (Austria). Partea electrică se execută de Siemens, AEG şi Elin.

*(Neue Zürcher Zeitung, 30 martie 1972)*

În anul trecut, Marea Britanie a depăşit producţia de 200 miliarde kWh în centrale nucleare. În felul acesta, Marea Britanie ocupă primul loc în lume în ceea ce priveşte producerea energiei electrice în centrale nucleare; 47 % din energia electrică de provenienţă nucleară produsă în întreaga lume (cu excepţia U.R.S.S.) aparţine Marii Britanii.

În 1970 s-au produs:

| *Centrala* | *Milioane kWh* |
|---|---|
| Calder | 22 960 |
| Chapelcross | 20 240 |
| Berkeley | 20 898 |
| Bradwek | 21 216 |
| Hunters Ton | 19 213 |
| Hinkley Point | 21 665 |
| Trawsfynydd | 20 232 |
| Dungeness A | 21 507 |
| Sizewek | 19 092 |
| Oldbury | 10 518 |
| Windscale | 2 027 |
| Winfrith | 1 619 |
| Dounreay | 378 |
| Total | 201 566 |

Revista „ENERGETICA" – organ al Ministerului Energiei Electrice şi al Consiliului Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor din R.S. România (CNIT). Redacţia: Bucureşti, str. Galaţi nr. 5–7, Sectorul II, Tel. 13 66 83, 13 00 53. Instituţiile pot achita abonamente pentru biblioteci şi cabinete tehnice în contul nostru de virament nr. 30.01 01.00 B.N.R.S.R. – Sectorul VI. Tarif pentru întreprinderi lei 100 anual. Tarif pentru muncitori, tehnicieni şi ingineri lei 30 anual. Preţul unui exemplar lei 5

Taxele poştale plătite în numerar conform aprobării D.G.P.T. nr. 10.1095, 1967

I.P.I. c. 1420

## *OFICIUL DE DOCUMENTARE ENERGETICĂ*

***București, str. Galați nr. 5–7***

***— Sectorul 2 —***

**Oficiul de Documentare Energetică (O.D.E.) este organul de specialitate al Ministerului Energiei Electrice pentru informarea și documentarea tehnică și economică în ramura energetică.**

**O.D.E. editează și difuzează revistele tehnice de specialitate din ramura energetică.**

**O.D.E. editează și difuzează periodicele documentare privind ramura energetică.**

**O.D.E. editează și difuzează publicațiile tehnice departamentale: prescripții tehnice (normative, regulamente, instrucțiuni, condiții tehnice, fișe tehnologice, norme interne etc.), norme și carnete de protecție a muncii, note tehnice, studii documentare etc.**

**O.D.E. editează și difuzează materiale de popularizare și propagandă tehnico-economică: afișe, pliante, broșuri, albume etc.**

**O.D.E. execută, la cerere, traducerea din orice limbă a materialelor și documentațiilor tehnice ca: articole, referate, prescripții, cataloage de produse, prospecte și alte lucrări de specialitate.**

***Revistele tehnice editate de O.D.E.:***

**„Energetica"**

**„Producerea, transportul și distribuția energiei electrice și termice"**

**„Construcții și montaje energetice"**

**„Studii și cercetări în energetică" și suplimentul „Utilizarea calculatoarelor în electroenergetică"**

***Periodicele documentare editate de O.D.E.:***

**„Buletinul de informare pentru cadrele de conducere din energetică"**

**„Buletinul de documentare tehnică în energetică"**

**C a i e t e s e l e c t i v e p e t e m e l e:**

**„Economia de energie"**

**„Proiectarea și executarea construcțiilor și instalațiilor energetice"**

**„Exploatarea, întreținerea și repararea instalațiilor energetice"**

**„Protecția muncii și paza contra incendiilor în construcțiile și instalațiile energetice"**

***„Fișe documentare"***

***„Prescripții tehnice în sectorul energetic"***

***Abonați-vă la revistele și publicațiile periodice editate de Oficiul de documentare energetică pentru a fi la curent cu toate problemele și noutățile tehnice ce apar în activitățile de cercetare, dezvoltare, proiectare, execuție și exploatare din ramura energetică.***

***Folosiți serviciile pe care vi le oferă Oficiul de documentare energetică pentru procurări de cărți și reviste străine, traduceri, lucrări reprografiate etc.***

**O.D.E. – M.E.E. – București, Str. Galați nr. 5–7, sectorul 2**
**telefon: 15.16.28 – 14.00.17. – 13.00.53**

# MUZEUL TEHNIC „PROF. ING. DIMITRIE LEONIDA"

**În ansamblul serviciilor pe care OFICIUL DE DOCUMENTARE ENERGETICĂ le pune la dispoziţia beneficiarilor săi, un loc deosebit îl ocupă documentarea tehnico-ştiinţifică realizată prin MUZEUL TEHNIC „PROF. ING. DIMITRIE LEONIDA".**

**Situat în cadrul pitoresc al Parcului Libertăţii din Bucureşti, acest muzeu constituie — prin originalitatea, valoarea exponatelor şi unicitatea sa — o piesă de o deosebită valoare în tezaurul expoziţional românesc. Cele peste 6 000 de exponate, diorame, machete, modele de maşini — în mişcare sau secţionate — ilustrează într-un mod atrăgător şi instructiv istoria tehnicii, în special a celei româneşti, precum şi eforturile inteligenţei româneşti, care prin contribuţia adusă la dezvoltarea ştiinţei şi tehnicii se situează pe un loc de frunte în lume.**

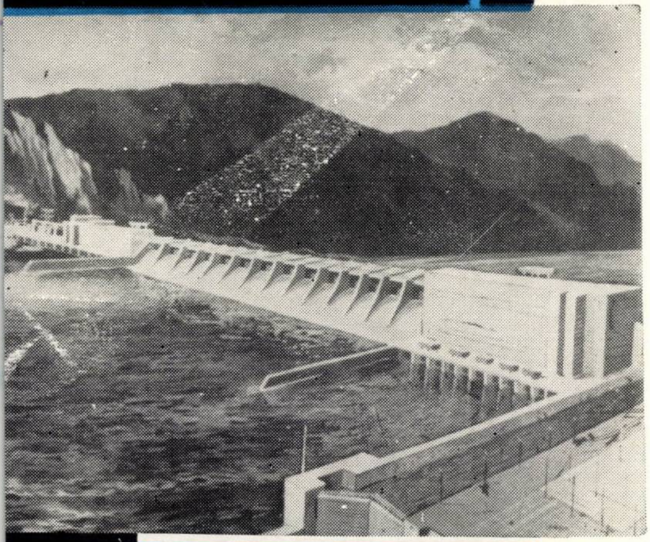
**Muzeul este organizat pe şase sectoare principale, şi anume :**

- **Mecanică**
- **Magnetism, electricitate**
- **Minerit şi căldură**
- **Iluminat, telecomunicaţii şi chimie**
- **Hidraulică**
- **Maşini industriale.**

**Prin varietatea şi bogăţia exponatelor sale, MUZEUL TEHNIC „PROF. ING. DIMITRIE LEONIDA" oferă vizitatorilor multiple posibilităţi de instruire individuală şi colectivă, prin lecţii şi demonstraţii practice, cicluri de conferinţe şi prelegeri pe teme de istorie a ştiinţei şi tehnicii, susţinute de filme şi diapozitive. De asemenea, muzeul dispune de o bibliotecă tehnico-ştiinţifică de peste 25 000 de volume, precum şi de numeroase materiale vizuale (filme, diapozitive).**

**Muzeul este deschis în fiecare zi, cu excepţia zilei de luni.**

ICH
bucureşti



INTREPRINDEREA DE CONSTRUCŢII HIDROENERGETICE - BUCUREŞTI

EXECUTĂ :

. Baraje de toate genurile
. Centrale hidroelectrice subterane şi de suprafaţă
. Castele de echilibru
. Ecluze
. Tuneluri şi galerii hidrotehnice
. Canale şi diguri
. Amenajări pentru alimentarea cu apă a marilor industrii
. Complexe pentru producerea agregatelor de betoane.

I.C.H. - BUCUREŞTI
Str. Dimitrie Onciul nr. 23-25
Telefon : 35.54.70
Telex : INCOHIDROEN 011 - 244
Bucureşti 3

INTREPRINDEREA

# ELECTROMONTAJ

BUCUREŞTI

Exécute des travaux de montage pour les installations du reseau électrique:

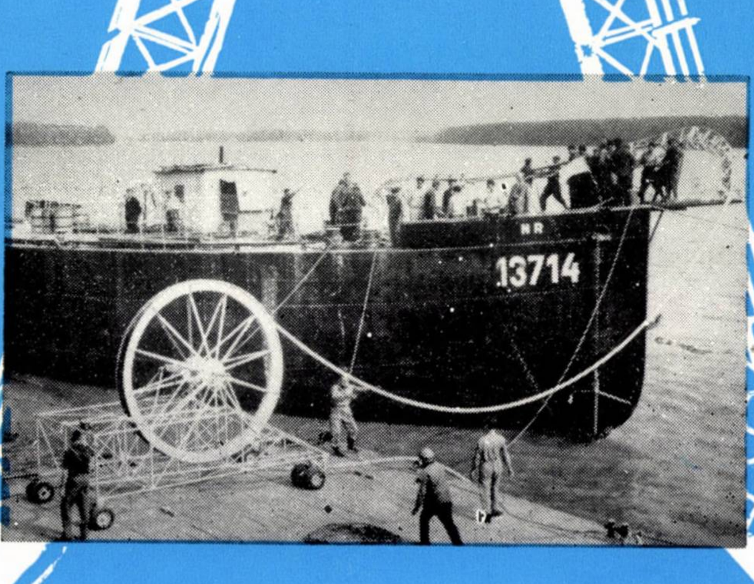
- **Lignes électriques de transport pour tensions jusqu'à 400 kV**
- **Postes de transformateurs à 35 – 400 kV**
- **Réseaux d'éclairage public**
- **Lignes électriques de distribution de haute et moyenne tension**
- **Postes de distribution pour toute puissance et tout rapport de transformation**
- **Lignes électriques en câbles souterrains et sous-fluviaux jusqu'à 110 kV**
- **Electrifications rurales**

*Les travaux de montage sont exécutés par INTREPRINDEREA ELECTROMONTAJ BUCUREŞTI par des procédés technologiques modernes de haute productivité à durées d'exécution minimes et d'un niveau qualitatif élevé*

Carries out erection works for power systems equipment and electrical networks

- Transmission lines for voltage up to 400 kV
- Transformer substations ranging from 35 to 400 kV
- Public lighting networks
- Distribution lines of high and medium voltage
- Substations for any capacity and transformation ratio
- Underground and under-river electrical cables up to 110 kV
- Rural electrifications

*The erection works are carried out by INTREPRINDEREA ELECTROMONTAJ BUCUREŞTI by high productivity modern technological processes, in short delivery times and at high quality level*




Bucureşti, Str. Candiano Popescu nr. 1, Sectorul 5, tel. 23.88.30 telex 011.208

# I.E.C. CRAIOVA

Produce şi furnizează prin instalaţiile sale, în condiţii de siguranţă şi calitate:

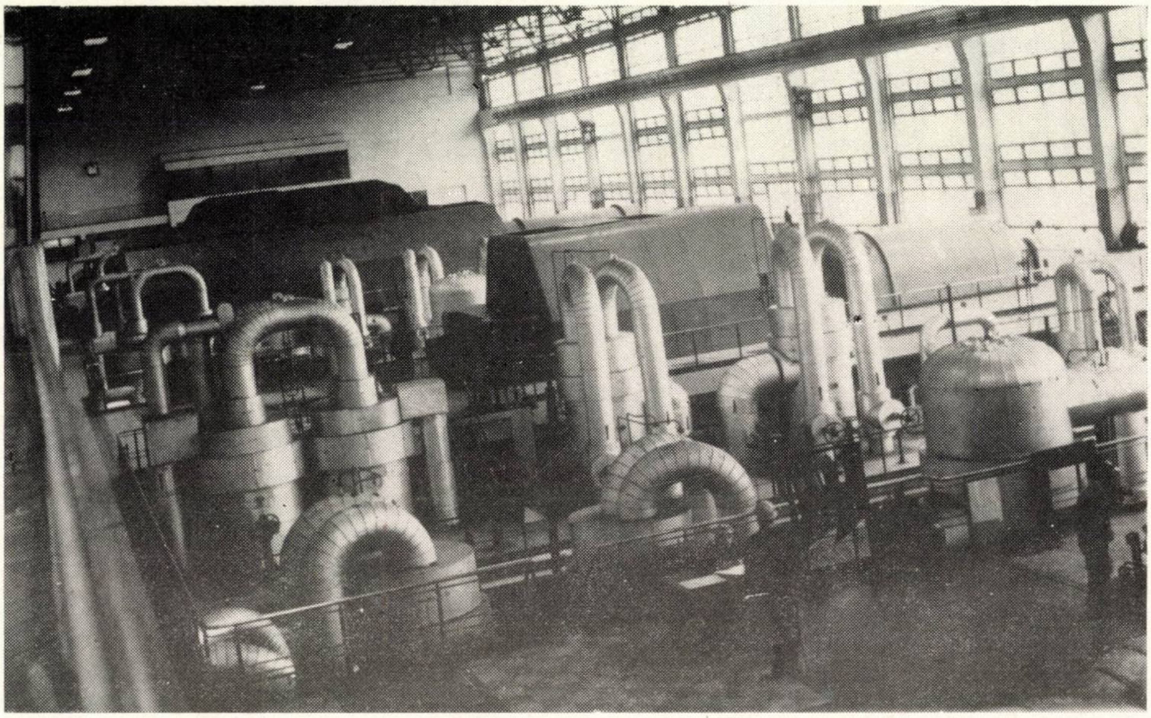
- energie electrică, sistemului electroenergetic naţional şi consumatorilor de energie electrică din zonă;
- căldură, consumatorilor industriali din zonă.

Centrala Electrică de Termoficare - Craiova dispune de grupuri generatoare de mare putere şi de instalaţii moderne, cu un înalt grad de automecanizare şi de concentrare a comenzilor, ceea ce asigură funcţionarea continuă a centralei în perfecte condiţii tehnice şi economice.

Cenuşa livrată de centrală se poate utiliza de fabricile de ciment la elaborarea betonului celular autoclavizat, din care se realizează cărămizi uşoare, panouri mari pentru hale industriale, stîlpi uşori, izolaţii termice hidrofuge şi fonice, precum şi alte produse necesare industriei construcţiilor şi materialelor de construcţii

ÎNTREPRINDEREA ELECTROCENTRALE CRAIOVA

Căsuţa poştală nr. 39 jud. Dolj



Execută prin unităţile sale:

● **Lucrări de construcţii termoenergetice:**

— centrale termoelectrice
— termoficări urbane şi industriale
— construcţii hidrotehnice aferente centralelor termoelectrice
— coşuri de fum prin glisare, cu înălţimi pînă la 250 m
— turnuri de răcire cu tiraj natural şi tiraj forţat
— montaje de prefabricate grele din beton armat pentru orice construcţie termoenergetică

● **Lucrări de montaj pentru centrale termo şi hidroelectrice:**

— cazane de abur moderne de mari capacităţi cu parametri ridicaţi
— turbine cu abur pînă la 345 MW
— turbine cu gaze pînă la 35 MW
— turbine hidraulice pînă la 176 MW
— generatoare electrice
— compensatoare sincrone
— instalaţii termomecanice şi hidromecanice pentru centrale termoelectrice şi hidroelectrice
— instalaţii electrice de joasă, înaltă şi foarte înaltă tensiune, aferente centralelor electrice
— instalaţii de măsură, control, automatizare, atît la partea mecanică cît şi la partea electrică.

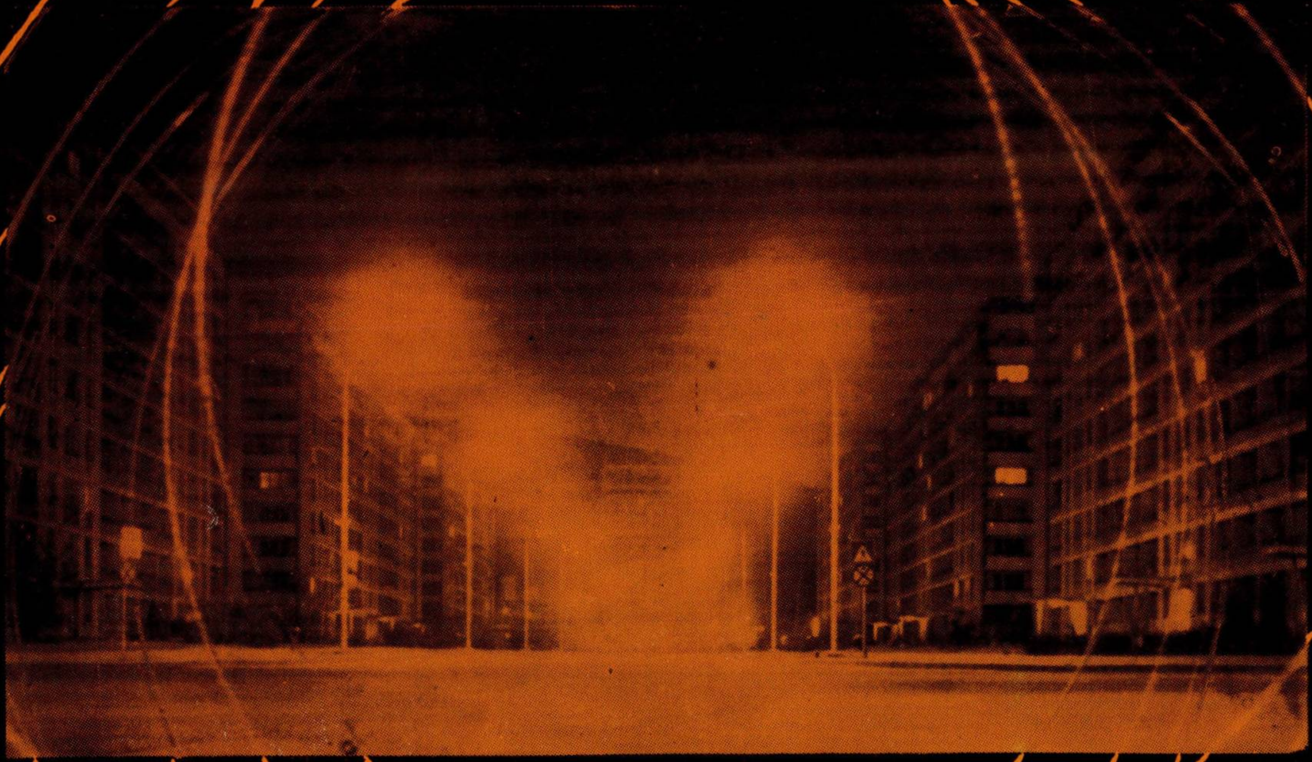
# TCME

● Lucrările de construcţii şi montaje se execută de către Trustul de Construcţii şi Montaje Energetice prin metode tehnologice moderne de mari productivităţi, în durate de timp minime şi la un înalt grad de calitate.

## TRUSTUL DE CONSTRUCŢII ŞI MONTAJE ENERGETICE

Bucureşti, Calea Moşilor nr. 158
Tel. 16.63.30, Telex: 271

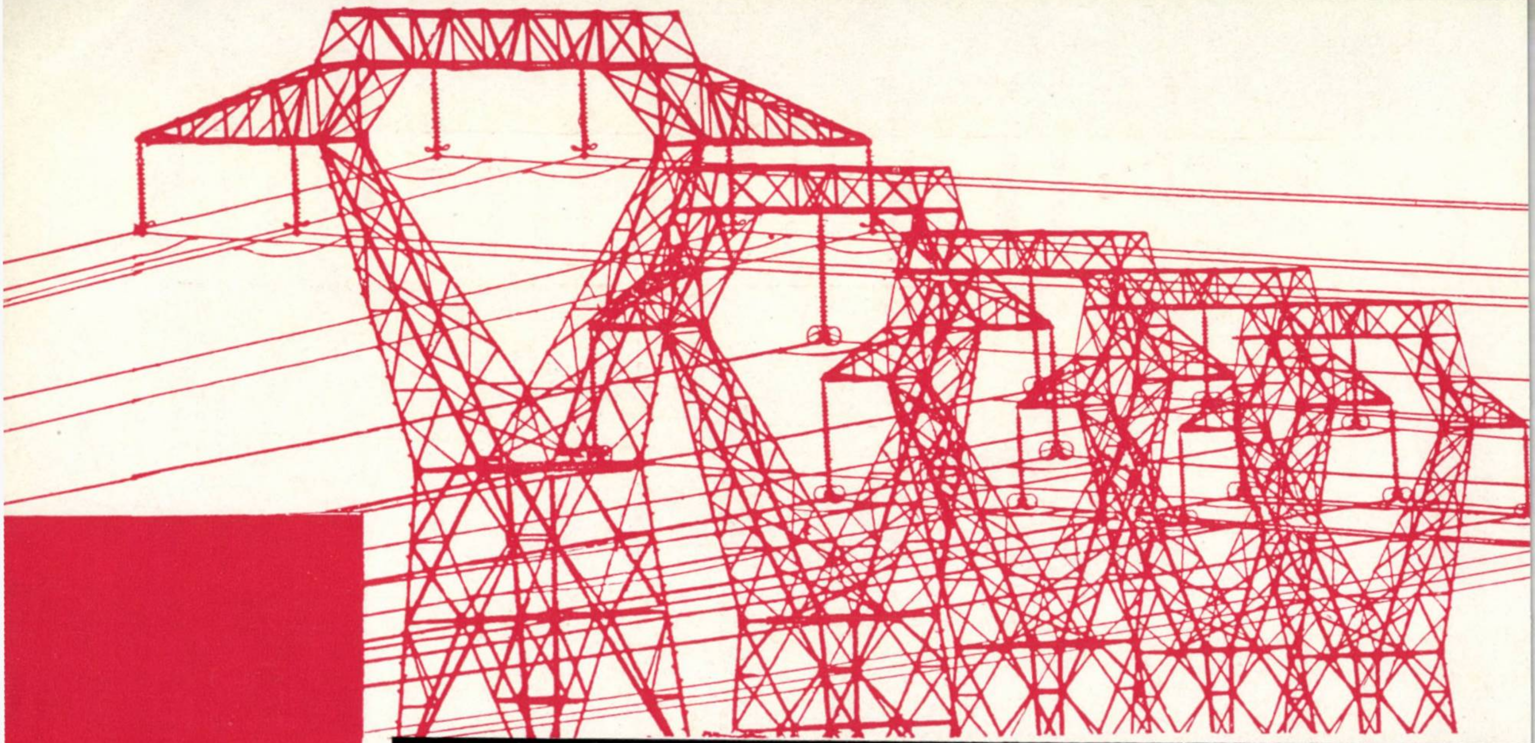
# IRE PIATRA-NEAMŢ



- Distribuie energie electrică la toate categoriile de consumatori de pe teritoriul jud.Neamţ.
- Proiectează şi execută prin unităţile sale:
  - instalaţii electrice de medie şi joasă tensiune;
  - instalaţii electrice de iluminat;
  - instalaţii electrice interioare şi branşamente.

ÎNTREPRINDEREA DE REŢELE ELECTRICE PIATRA-NEAMŢ

str. Parcurilor nr. 12 • jud. Neamţ



# I R E

- TRANSPORTĂ şi DISTRIBUIE energie electrică, prin reţele de înaltă, medie şi joasă tensiune, tuturor consumatorilor din zonă.

- PROIECTEAZĂ :
  . posturi şi staţii de transformare;
  . linii electrice aeriene şi subterane de transport şi distribuţie;
  instalaţii electrice de iluminat exterior.

- CONSTRUIEŞTE :
  . posturi de transformare;
  . linii electrice aeriene şi subterane de joasă tensiune;
  . branşamente şi instalaţii electrice de linii şi forţă.

# Bucureşti

Şos. Ştefan cel Mare nr. 1 A, sectorul 2, telefon: 11 50 20 .

# I.P.R.S. Băneasa

## ÎNTREPRINDEREA DE PIESE RADIO ŞI SEMICONDUCTORI BĂNEASA

STR. EROU IANCU NICOLAE NR. 32 • SECTORUL 2
TELEFON 33.38.30 • TELEX. 011203

REZISTOARE
- cu peliculă de carbon
- bobinate

TERMISTOARE
- ceramice

CONDENSATOARE
- polistiren (tip styroflex)
- poliester metalizat
- hîrtie metalizată
- hîrtie echipament auto
- hîrtie antiparazitare
- hîrtie pentru telefonie

CONDENSATOARE ELECTROLITICE
- normale
- miniatură
- nepolarizate

CONDENSATOARE CERAMICE
- disc
- tubulare
- plachetă
- ajustabile

CABLAJE IMPRIMATE

TRANZISTOARE
- de joasă frecvenţă
- de înaltă frecvenţă şi comutaţie
- de putere

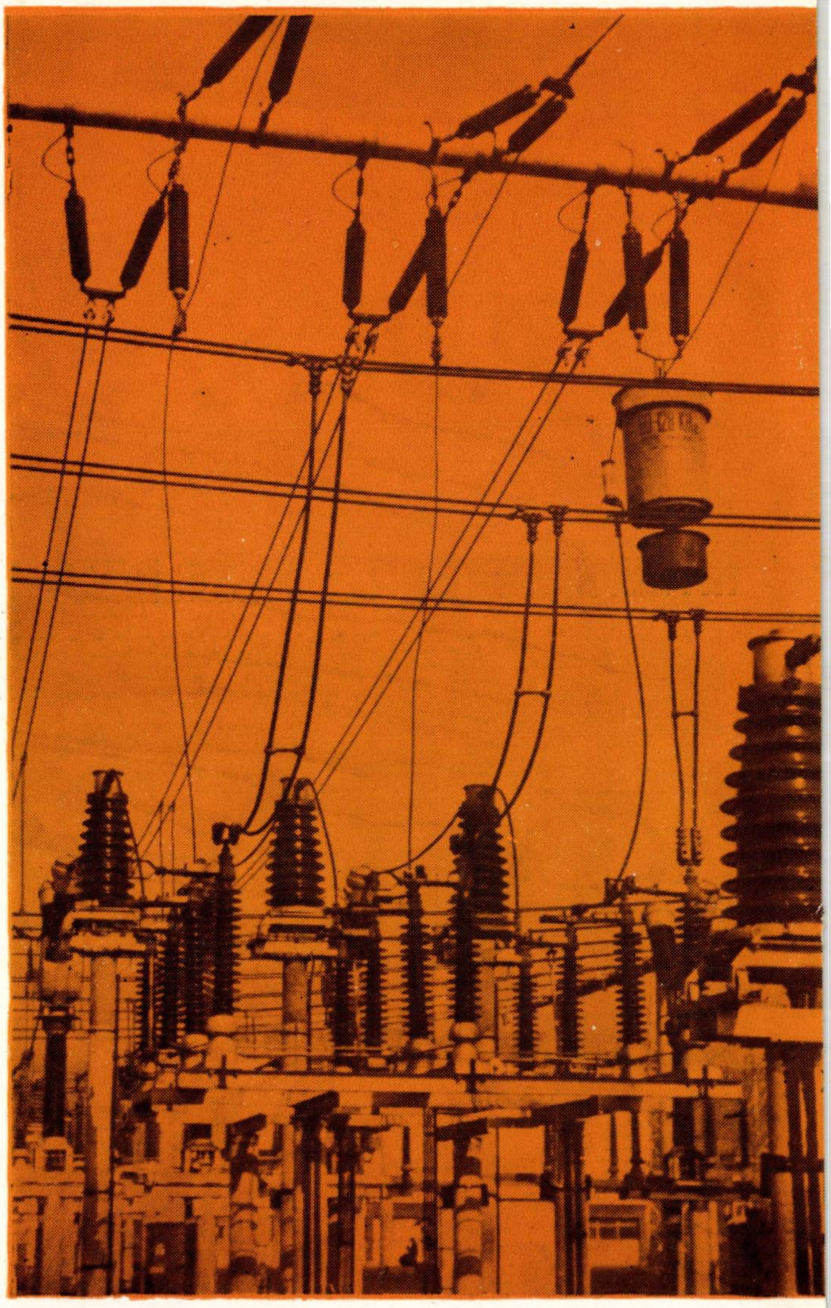
DIODE
- de semnal şi comutaţie
- redresoare
- redresoare pentru curenţi mari
- stabilizatoare de tensiune
- de putere cu siliciu

CIRCUITE INTEGRATE

# pitești

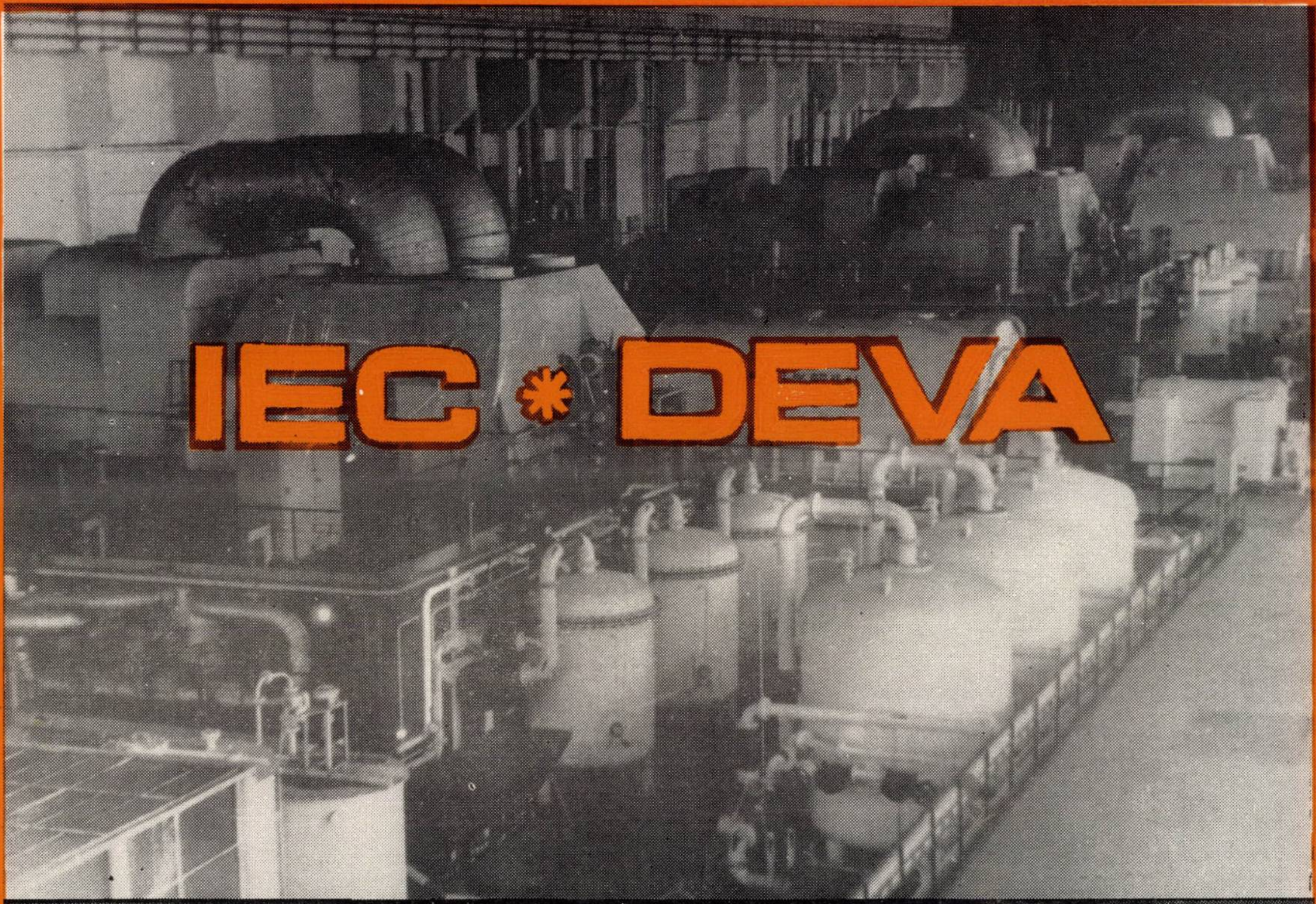
# i.r.e.

Str. Republicii Nr. 148



Proiectează, construieştei, întreţine şi exploatează prin unităţile sale instalaţiile electrice pentru transportul şi distribuţia energiei electrice din zonă:

- staţii şi posturi de transformare
- linii de transport şi distribuţie a energiei electrice;
- instalaţii electrice interioare atît pentru unităţile socialiste cît şi pentru particulari.




Centrala termoelectrică-Deva, din cadrul IEC Deva, are o putere instalată de 840 MW şi este înzestrată cu instalaţii şi utilaje de nivel tehnic ridicat, a căror funcţionare optimă este asigurată printr-un înalt grad de automatizare şi control.

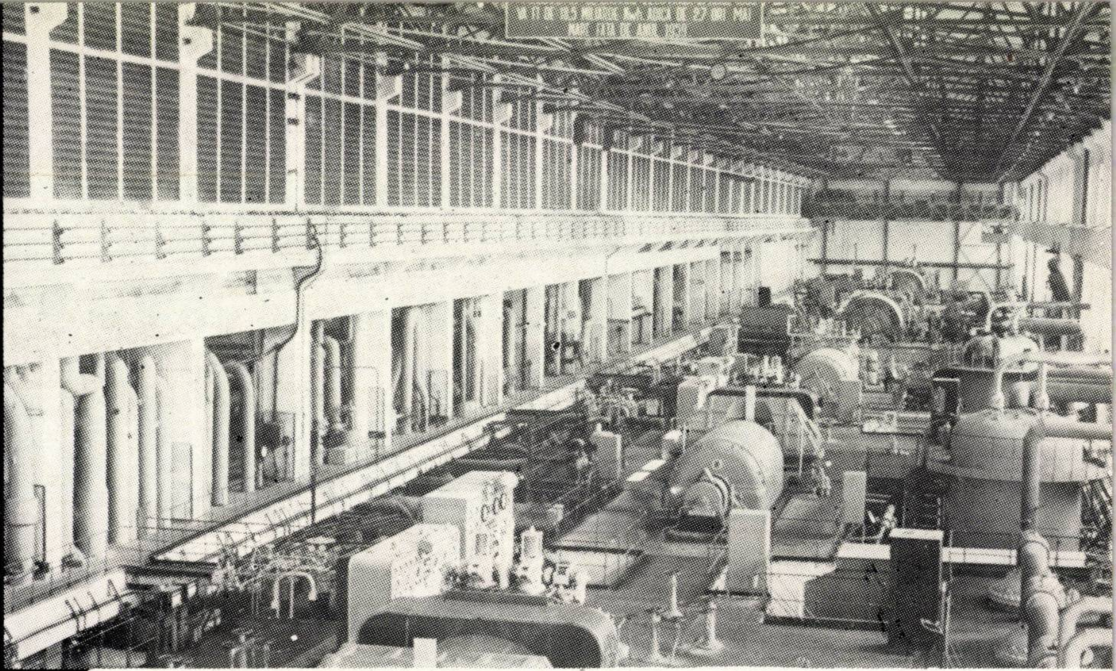
CTE Deva asigură producerea şi furnizarea energiei electrice consumatorilor în condiţii de siguranţă şi calitate.

Cenuşa de termocentrală, rezultată ca produs secundar, are o largă utilizare în diferite alte industrii.

ÎNTREPRINDEREA ELECTROCENTRALE DEVA

Mintia - căsuţa poştală 7-5 jud. Hunedoara

# IEC BORZEȘTI



Întreprinderea Electrocentrale Borzeşti furnizează energie electrică sistemului energetic naţional, prin centralele sale Borzeşti şi Iaşi, care au o putere totală instalată de 705 MW.

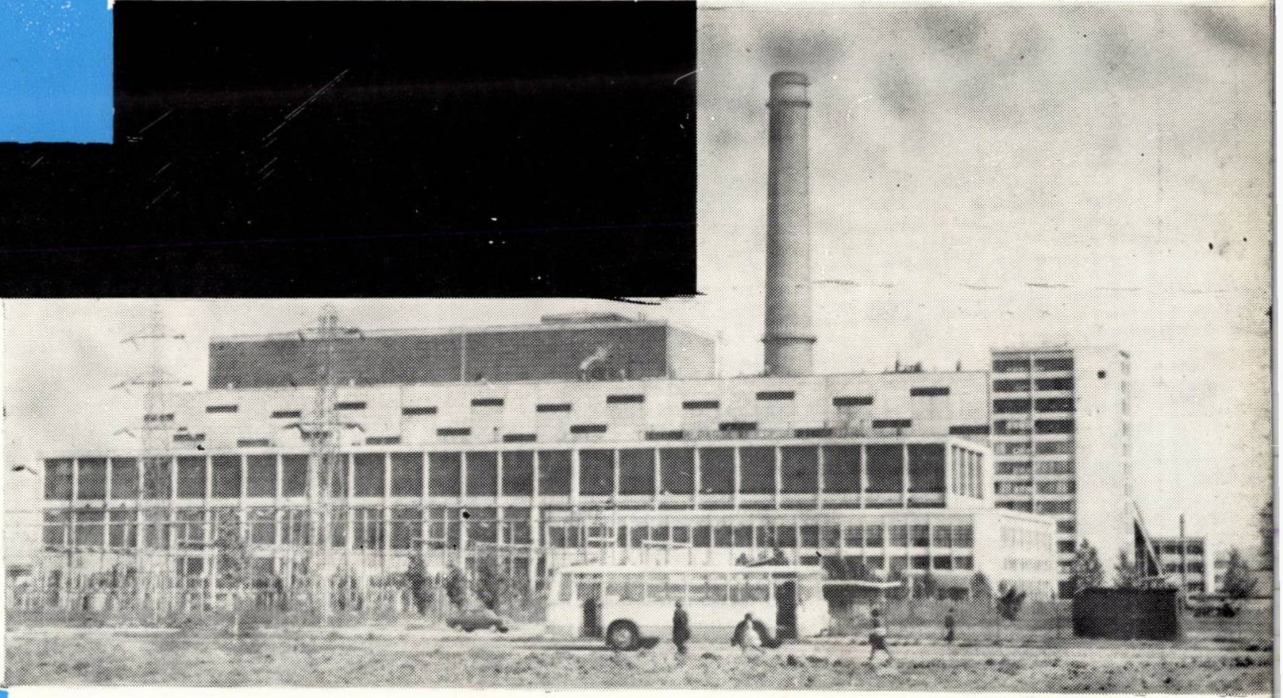
- Prin CET Borzeşti asigură alimentarea cu energie electrică şi căldură a platformei industriale Borzeşti şi a oraşului Gh. Gheorghiu-Dej.

- Prin CET Iaşi asigură alimentarea cu energie electrică şi căldură a consumatorilor industriali şi casnici din zona oraşului Iaşi.

ÎNTREPRINDEREA ELECTROCENTRALE BORZESTI

ORAȘUL GH. GHEORGHIU-DEJ, JUD. BACĂU

# I.E.C. ORADEA



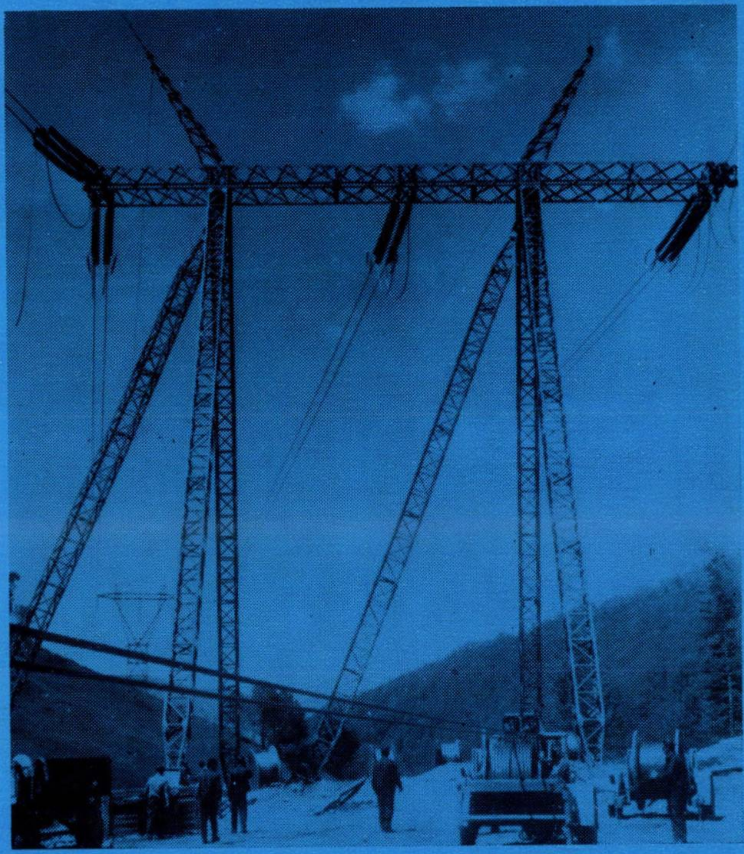
CET Oradea, cu o putere totală instalată de 105 MW şi dispunînd de trei cazane de apă fierbinte de cîte 100 Gcal/h, asigură necesităţile de energie electrică şi căldură ale consumatorilor din municipiul Oradea şi împrejurimi, la un înalt grad de siguranţă şi calitate.

CET Arad, CET Timişoara şi CET Reşiţa furnizează căldură consumatorilor industriali şi ridică gradul de siguranţă în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor din zonele respective.

ÎNTREPRINDEREA ELECTROCENTRALE - ORADEA
Şos. Borşului, km 5

iec constanța
Prin centralele sale, furnizează energie electrică sistemului energetic național, asigurînd o mare parte din necesarul de energie electrică al Dobrogei.
CET Palas, recent construită, are o putere totală instalată de 100 MW.
Prin această nouă centrală se asigură căldura necesară pentru zona industrială și urbană a municipiului Constanța și se ridică gradul de siguranță în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor din Dobrogea.
ÎNTREPRINDEREA ELECTROCENTRALE CONSTANȚA, BD. AUREL VLAICU NR. 123

# TEM



**EXECUTĂ PRIN UNITĂŢILE SALE DE CONSTRUCŢII:**

- Staţii electrice pînă la 400 kV şi posturi de transformare de orice mărime şi pentru orice raport de transformare
- Linii electrice aeriene de transport şi distribuţie pentru tensiuni pînă la 400 kV
- Linii electrice de distribuţie în cablu, de înaltă, medie şi joasă tensiune
- Electrificări rurale
- Instalaţii de iluminat public

**PRODUCE PRIN UNITĂŢILE SALE INDUSTRIALE :**

- Stîlpi metalici pentru linii electrice aeriene de înaltă şi foarte înaltă tensiune, în construcţie sudată sau bulonată zincată ;
- Stîlpi de beton armat centrifugat sau vibrat pentru linii electrice aeriene de înaltă, medie şi joasă tensiune ;
- Panouri de comandă, măsură, protecţie şi semnalizare pentru centrale şi staţii electrice ;
- Celule prefabricate de tip deschis pînă la 20 kV şi 2500 A ;
- Posturi de transformare urbane şi rurale complet prefabricate pînă la 20 kV şi 630 kVA ;
- Diverse prefabricate pentru centrale electrice, staţii, posturi de transformare şi linii electrice de transport şi distribuţie.

**LA EXECUTAREA PRODUSELOR INDUSTRIALE ŞI A INSTALAŢIILOR ELECTRICE, TRUSTUL ELECTROMONTAJ FOLOSEŞTE PROCEDEE TEHNOLOGICE MODERNE DE MARE PRODUCTIVITATE, CARE CONDUC LA DURATE SCURTE DE EXECUŢIE ŞI LA UN ÎNALT NIVEL CALITATIV AL LUCRĂRILOR ŞI PRODUSELOR.**

## TRUSTUL ELECTROMONTAJ

Bucureşti, Calea Moşilor Nr. 158, tel. 16.63.30, telex TRELMONTAJ — 271

INTREPRINDEREA

# Energomontaj

Exécute:

- Le montage, la mise en fonction et la mise en exploitation des équipements et installations énergétiques pour centrales thermiques et hydro-électriques :

ÉQUIPEMENTS ET INSTALLATIONS POUR CENTRALES THERMIQUES ET CENTRALES POUR LA PRODUCTION COMBINÉE CHALEUR/FORCE :

- chaudières à vapeur de grande capacité et à para mètres élevés de fonctionnement
- turbines à vapeur de puissances unitaires jusqu'à 350 MW
- installations de combustible pour : charbon, mazout, gaz
- autres installations méchaniques, afférentes aux centrales thermiques : récipients, conduites, pompes etc.

ÉQUIPEMENTS ET INSTALLATIONS POUR CENTRALES HYDRO-ÉLECTRIQUES ET INSTALLATIONS HIDROTECHNIQUES :

- turbines hydrauliques de tout type, à puissances unitaires jusqu'à 176 MW
- conduites forcées
- équipements et autres installations mécaniques pour centrales hydro-électriques et thermiques
- équipements et installations pour écluses

ÉQUIPEMENTS ET INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES POUR CENTRALES THERMIQUES, HYDRO-ÉLECTRIQUES, POSTES DE TRANSFORMATEURS ET INSTALLATIONS SPÉCIALES

- installations de commutation primaire jusqu'à une tension de 400 kV y compris
- installations pour les services auxiliaires aux centrales et postes de transformateurs
- installations de commutation secondaire
- installations d'automatisation, etc.

1973 JAN 17

Carries out :

Erection, operation and commissioning of power equipments and installations for thermal and hydroelectric power plants

INSTALLATIONS AND EQUIPMENTS FOR THERMAL POWER PLANTS AND FOR COMBINED HEAT AND POWER PLANTS:

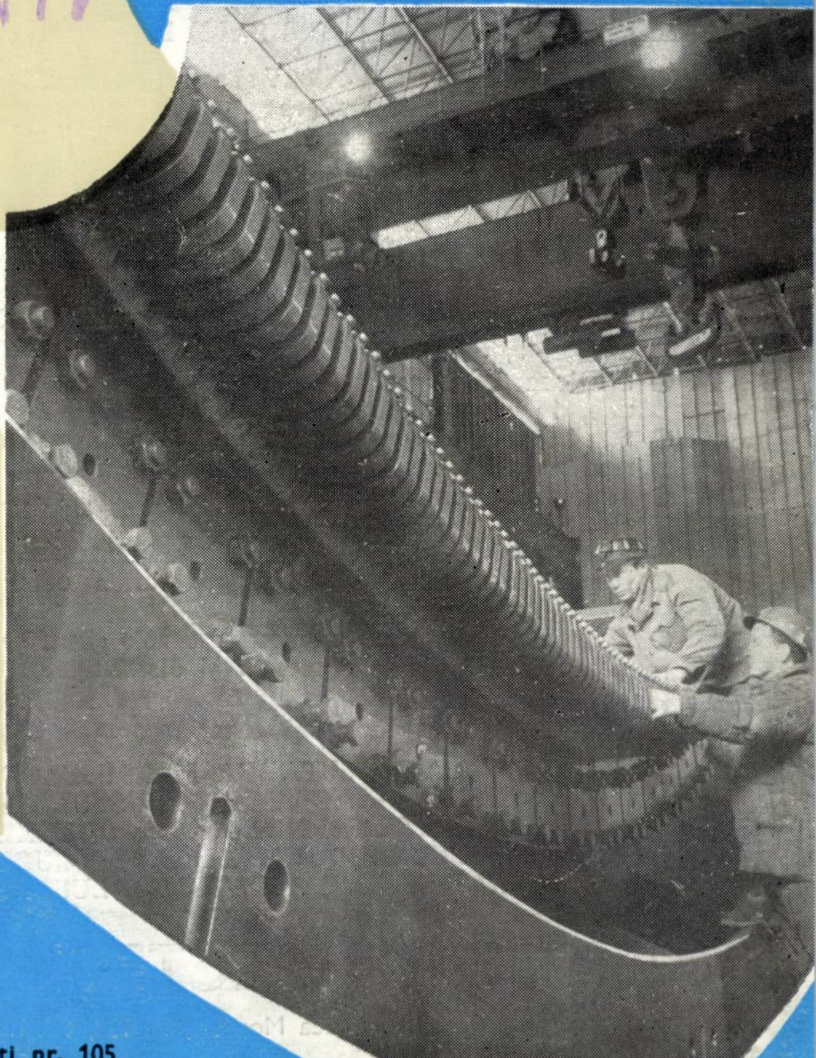
- boilers of high capacity and high operational parameters
- steam turbines up to 350 MW per unit
- fuel installations for : coal, fuel-oil, gas
- other mechanic equipment necessary for thermal power plants : tanks, pipes, pumps, etc.

EQUIPMENTS FOR HYDRO-ELECTRIC POWER PLANTS AND HYDRO-TECHNICAL INSTALLATIONS :

- hydraulic turbines of all types, up to 176 MW per unit
- penstocks
- other mechanic equipment for hydro-electric power plants
- equipments and installations for locks

ELECTRIC EQUIPMENT FOR THERMAL AND HYDRO-ELECTRIC POWER PLANTS, SUBSTATIONS, TRANSFORMER POSTS AND SPECIAL INSTALLATIONS :

- primary switching installations up to 400 kV
- indoor service installations in power plants and transformer posts
- secondary switching installations
- automation equipment, etc.



BUCUREŞTI, Sectorul 1, Calea Dorobanţi nr. 105

Tel : 12.76.30, telex : 335

E 2039

MW

8

# energetica

VOLUMUL XX
BUCUREȘTI • AUGUST 1972

0 6 12 18 24

# ICENERG

**INSTTIUTUL DE CERCETĂRI ELECTROENERGETICE ȘI PENTRU TERMOFICARE**

*București, sector 4 Str. Doamnei nr. 14—16 Telefon : 16 65 60—15 08 90*

**EXECUTĂ CERCETĂRI ȘTIINȚIFICE PENTRU ASIGURAREA :**

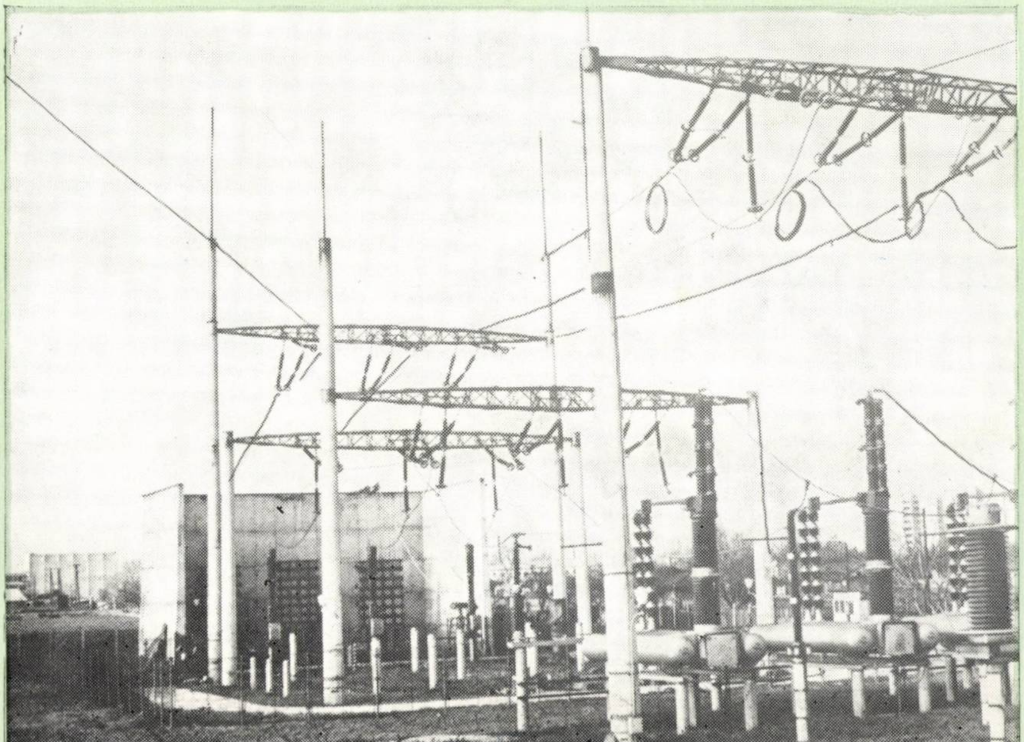
— dezvoltării sistemului energetic ;
— exploatării sigure și economice a instalațiilor din sistemele energetice ;
— continuității și siguranței în alimentarea consumatorilor ;
— ridicării nivelului tehnic în proiectarea, construcția și exploatarea instalațiilor de producere, transport și utilizare a energiei electrice și căldurii produse prin termoficare.

**ACORDĂ ASISTENȚĂ TEHNICĂ PRIN STUDII ȘI CERCETĂRI ȘTIINȚIFICE ÎN DOMENIILE**

— sisteme și rețele electrice ;
— producerea și utilizarea energiei electrice ;
— tehnica tensiunilor înalte ;
— automatizare ;
— centrale termoelectrice și de termoficare ;
— hidrotehnică industrială în centralele termoelectrice ;
— chimia centralelor termoelectrice ;
— cercetări economice și de organizare științifică a producției.

**STAȚIA DE MARE PUTERE A ICENERG VA STA LA DISPOZIȚIE PENTRU :**

— încercări de verificare a capacității de comutație a întrerupătoarelor ;
— încercări de verificare a rezistenței la scurtcircuit brusc a transformatoarelor de putere ;
— cercetarea echipamentului electric de înaltă tensiune în condițiile sistemului energetic.



# ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 1972 Nr. 8 August


## *Cuprinsul*


| | | Pag. |
|---|---|---|
| *Dimo, P.* | **Soluţiile analizei nodale în cazul calculului în timp real şi al interconexiunilor vaste** | 333—341 |
| *Raşcu, P.* | **Staţiile de conexiuni şi transformare de la CHE Porţile de Fier. Schema electrică şi dispoziţiile constructive adoptate** | 342—346 |
| *Stein, M.* şi *Vîlcereanu, A.* | **Unele consideraţii asupra modalităţilor de determinare a indicatorilor de siguranţă ai schemelor de alimentare cu energie electrică** | 346—352 |
| *Albert, H.* | **Unele aspecte ce trebuie avute în vedere la abordarea calculelor de siguranţă a instalaţiilor** | 353—358 |
| *Dialcu, E.* şi *Dobrescu, D. M.* | **Analiza unor modele structurale de siguranţă în funcţionare (cu aplicaţie în energetică)** | 358—363 |
| *Stanisavlievici, L.* | **Domeniul optim de *p*H al schimbătorilor de ioni** | 363—368 |
| *Burdeţi, D.* | **Măsurarea deplasărilor mici cu traductoare diferenţiale tip transformator** | 369—373 |
| *Nabijovici, A.* | **Posibilităţi de evitare a cavitaţiei pompelor de alimentare în cazul schemelor-bloc** | 374—382 |
| **CRONICĂ** | **Conferinţa pe ţară a inginerilor şi tehnicienilor** | 383—387 |



COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. univ. emerit ing. I. D. STĂNCESCU, redactor responsabil, ing. G. IORGULESCU, redactor responsabil adjunct, conf. ing. I. A. BADEA, ing. ST. BERENGHI, conf. ing. A. COGĂLNICEANU, dr. ing. P. DIMO, membru corespondent al Academiei Republicii Socialiste România, laureat al Premiului de Stat, ing. H. FURTUNESCU, ing. P. IFTIME, ing. L. LUCA, ing. B. MARCU, dr. ing. A. MĂCRIŞ, conf. ing C. MIHĂILEANU, prof. dr. ing. V. I. NIŢU, ing. A. SPÎNU, ing. R. ZANE



**OFICIUL DE DOCUMENTARE ENERGETICĂ**

# INSTITUTUTUTUTUL DE STUDII ȘI PROIECTĂRI ENERGETICE

INSTITUTUL DE STUDII ȘI PROIECTĂRI ENERGETICE (L'Institut d'Études et de Projets Énergétiques), organisme de spécialité du Ministère de l'Énergie Électrique, exécute des études et des projets nécessaires à la réalisation des plans d'électrification, à l'extension et à la modernisation des installations énergétiques existantes, au fonctionnement en conditions économiques et de sécurité des réseaux électriques

- établit des projets techniques et d'exécution pour centrales thermiques et centrales à production combinée chaleur/force, postes d'interconnexions et de transformateurs, lignes électriques de transport et de distribution
- accorde assistance technique pour la réalisation des projets au paramètres projetés
- exécute des études d'électrification, conformément aux données de terrain: topographiques, géologiques, géotechniques et des études techniques et économiques pour la fondamentation des investissements énergétiques de tout genre
- établit les plans d'électrification courante et de perspective pour des pays, régions ou villes
- établit les projets des installations et des réseaux de chauffage pour utilisations urbaines et industrielles
- élabore des études concernant l'établissement des régimes de fonctionnement et de sécurité des réseaux électriques
- élabore des études méthodologiques et algorithmes de calcul et effectue, par ses installations modernes, tous les calculs nécessaires pour la résolution de différents problèmes d'études et de projets du domaine des réseaux électriques ou des élements de ceux-ci

*Collabore avec des entreprises et organisations étrangères pour des travaux de spécialité et accorde sur demande tout service de spécialité dans le domaine énergétique.*

# I S P E

INSTITUTUL DE STUDII ȘI PROIECTĂRI ENERGETICE (The Institute for Power Studies and Designs), the specialised body of the Ministry of Electric Energy, carries out studies and designs required for the achievement of the electrification plans, the extension and modernization of the existing power equipment, and for the electric networks operation in economic and safety conditions

— draws up technical and construction designs for thermal power plants and combined heat and power plants, substations and transformer posts, transmission and distribution lines
— lends technical assistance for achieving the designs at the designed parameters
— carries out electrification studies based on field data such as surveying, geological and geotechnical data, and technical and economical studies in order to justify the power investments of any kind
— draws up current and prospective electrification plans for countries, regions and towns
— designs equipment and heat networks for urban and industrial purposes
— elaborates studies for establishing the power regime and safety operation
— elaborates methodological studies and computing algorithms and carries out on its modern equipment the computations required for solving different studies and design problems in the field of electric networks and their elements

*Cooperates with foreign firms and organizations for specialised works and gives, on demand, all kind of engineering assistance in the power industry field.*

*BUCUREȘTI,*
*Bd. Lacul Tei nr. 1,*
*Tel. 12.19.70, 12.71.41*
*Telex. 011.177*

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁR ÉS DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT 1983

# СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.311.161:517:681.3
*Димо, П.:* **Решения узлового анализа в случае расчета в реальном времени и широких межсоединений**
Представлены новые развития узлового анализа для определения состояния объединенных энергосистем. Эквивалентом ОЭС с единичной нагрузкой является уменьшенная модель системы. Модель позволяет анализы ,,офф'' и ,,оп-лине'', исследования симулированных режимов в результате инцидентов и вывод характерных показателей режимов. Ассоциация узловых изображений позволяет индуктивно видеть физические явления.
Energetica 20 (1972), No. 8, стр. 333–341

ДК 621.211.42:611.311.21.(498)
*Рашку, П.:* **Подстанции и трансформаторные станции ГЭС Железные Ворота. Электрическая схема и принятые конструктивные решения**
Статья представляет основные решения, принятые для конструктивных вопросов ГЭС Железные Ворота.
Energetica 20 (1972), No. 8 стр. 342–343

ДК 621.316.3,004.64.519.2
*Штейн, М.* и *Вылчереану, А.:* **Соображения о способах определения коэффициентов запаса схем снабжения электрической энергией**
Представлены соображения о влиянии погрешностей фонда информаций, необходимый для определения коэффициентов запаса на расчет и расчетные результаты запаса систем.
Energetica 20 (1972), No 8, стр. 346–352

ДК 621.31.001.2.004.64:519.2
*Альберт, Х.:* **Некоторые аспекты, учитываемые при расчетах надежности установок**
Статья представляет некоторые аспекты расчета надежности систем, учитывая запасы, ремонт элементов и их взаимозависимость.
Energetica 20 (1972), No 8, стр. 353–358

ДК 621.31.004.64:519.2
*Диатку, Е.* и *Добреску, Д. М.:* **Анализ структуральных моделей надежности работы (с применением в энергетике)**
Статья касается определения уровня надежности составных элементов комплекса в соотношении с уровнем надежности для данного комплекса.
Energetica 20 (1972), No. 8, стр. 358–363

ДК 541.132.3: 661.183.12
*Станисавлиевич, Л.:* **Оптимальная область ионообменников**
Energetica 20 (1972), No. 8, стр. 363–368

ДК 621.165 :621.317.39: 531.7
*Бурдецu, Д.:* **Измерение небольших перемещений у турбин К—200—130—1**
Представлены датчики для измерения небольших перемещений, принятые у турбин К—200—130—1 (осевые перемещения и относительные расширения). Приведены: расчет магнитопроводов датчиков, экспериментальные данные относительно тарировки датчиков, а также и предложения, касающиеся будущих забот в этой области.
Energetica 20 (1972), No. 8, стр. 369–373

ДК 532.528: 621.187: 131
*Набижович, А.:* **Возможности избежания кавитации питательных насосов в случае схем блок**
Energetica 20 (1972), No. 8, стр. 374–382

# INHALTSVERZEICHNIS

DK 621. 311.161:517:681.3
*Dimo Paul:* **Die von Knotenpunktanalyse gebotenen Lösungen für Berechnungen in realer Zeit und von umfangreichen Verbundnetzen**
Es werden neue Entwicklungen der Knotenpunktanalyse für Ermittlung des Zustands von Verbundnetzen dargestellt. Als reduziertes Modell eine Verbundnetzes wird der Ausgleichswert REI mit Einheitsbelastung angenommen. Die Verbundschaltung der Ausgleichwerte gibt die Verbundschaltung der Netze wieder. Das Modell lässt off- und on-line-Analysen, Berechnung simulierter Betriebszustände, der Folgen von Betriebsstörungen und Folgerung der Kennziffern für Bezeichnung der Betriebsregime zu. Die Reihung von Knotenpunktbilder ermöglicht eine intuitive Sichtbarmachung der physikalischen Vorgänge.
Energetica 20 (1972), H. 8, S. 333–341

DK 621.311.42:621.21(498)
*Rașcu, P.:* **Die Schalt- und Umspannanlagen im Wasserkraftwerk von Eisernen Tor**
Der Verfasser beschreibt die wichtigsten bei Errichtung des Wasserkraftwerks vom Eisernen Tor in Bezug auf Gestaltung des Schaltbildes und Disposition des elektrischen Teils getroffenen Entscheidungen.
Energetica 20 (1972), H. 8, S. 342–346

DK 621.316.3.004.64 :519.2
*Stein, M.* und *Vilcereanu, A.:* **Einige Betrachtungen zur Frage wie Sicherheitskennziffern von Schaltbildern für Versorgung mit Elektroenergie ermittelt werden**
Betrachtungen über den Einfluss der in der Gesamtheit der für Ermittlung der Sicherheitskennziffern erforderlichen Informationen enthaltenen Fehler auf die Berechnung und die Ergebnisse der Betriebssicherheit von Verbundnetzen.
Energetica 20 (1972), H. 8, S. 346–352

DK 621.31.001.2.004.64 :519.2
*Albert, H.:* **Einige bei Inangriffnahme der Sicherheitsberechnungen von Verbundnetzen in Betracht zu nehmenden Aspekte**
Der Beitrag bietet einige Aspekte der Sicherheitsberechnungen von Verbundnetzen, wobei Reserven, Überholung der Bestandteile und ihre gegenseitige Abhängigkeit in Betracht gezogen werden.
Energetica 20 (1972), H. 8, S. 353–358

DK 621.31.004.64 :519.2
*Diatcu, E.* und *Dobrescu, D. M.:* **Analyse einiger strukturale Modelle der Betriebssicherheit (mit Anwendungen in der Energiewirtschaft)**
Der Aufsatz unternimmt die Ermittlung des Sicherheitspegels der Bestandteile eines Komplexes, im Verhältnis zu dem vom Komplex geforderten Sicherheitspegel.
Energetica 20 (1972), H. 8, S. 358–363

DK 541.132.3 :661.13.12
*Stanisavlievici, L.:* **Optimaler *p*H-Bereich der Ionenaustauscher**
Energetica 20 (1972), H. 8, S. 363–368

DK 621.165 :621.317.39 :531.7
*Burdeți, D.:* **Messung geringfügiger Verschiebungen bei Turbinen der Bautype K–200–130–1**
Es werden Geber für Messung geringfügiger (achsialer und durch relative Dilatation bedingter) Verschiebungen bei Turbinen der Bautype K–200–130–1 beschrieben. Die Berechnung der magnetischen Kreise der Geber, Versuchsergebnisse bei Eichung derselben sowie Vorschläge für künftige Bestrebungen auf diesem Gebiet werden angeführt.
Energetica 20 (1972), H. 8, S. 369–373

DK 532.528 :621.187.131
*Nabijovici, A.:* **Möglichkeiten Kavitationsvorgänge in Speisepumpen bei Anwendung von Blockschaltbildern zu vermeiden.**
Energetica 20 (1972), H. 8, S. 374–382

# SOMMAIRE


CD 621.311.161 : 517 : 681.3

*Dimo, Paul* : **Les solutions obtenues par l'analyse nodale en cas de calcul en temps réel et d'interconnexions vastes**

L'auteur présente de nouveaux développements de l'analyse nodale pour établir les états des réseaux énergétiques interconnectés. L'équivalent REI à charge unique est le modèle réduit d'un réseau. L'interconnexion des équivalents reproduit celle des réseaux. Le modèle permet l'analyse off et on-line, l'étude de régimes simulés, des conséquences de quelques incidents et la déduction des indicateurs caractérisant les régimes. L'association des images nodales permet la visualisation intuitive des phénomènes physiques.

Energetica 20 (1972), no. 8, p. 333–341

---

CD 621.311.42 : 621.21.(498)

*Rașcu, P.* : **Postes de transformation et de connexion pour la centrale hydroélectrique des Portes de Fer. Schéma électrique et construction adoptés**

L'article présente les solutions principales choisies pour résoudre les problèmes posés par la construction de la centrale hydroélectrique des Portes de Fer.

Energetica 20 (1972), no. 8, p. 342–346

---

CD 621.31.6.3.004.64 :519.2

*Stein, M.* et *Vilcereanu, A.* : **Quelques considérations sur les modes d'établissement des indicateurs de fiabilité des schémas d'alimentation avec de l'énergie électrique**

Il s'agit de considérations concernant l'influence des erreurs du fond d'informations necessaire pour établir les indicateurs de fiabilité, sur le calcul et les résultats du calcul de la fiabilité des réseaux.

Energetica 20 (1972), no. 8, p. 346–352

---

CD 621.31.004.64 : 519.2

*Albert, H.* : **Quelques aspects devant être pris en considération pour aborder le calcul de fiabilité des installations**

L'article décrit quelques aspects du calcul de fiabilité des réseaux, en tenant compte des réserves, de la réparation des éléments et de leur interdépendance.

Energetica 20 (1972), no. 8, p. 353–358

---

CD 621.31.004.64 :519.2

*Diatcu, E.* et *Dobrescu, D. M.* : **L'analyse de quelques modèles structuraux de fiabilité de fonctionnement (avec application à l'énergétique)**

L'article essaie d'établir le niveau de fiabilité des éléments composant un complexe, en rapport avec le niveau de fiabilité imposé à ce complexe.

Energetica 20 (1972), no. 8, p. 358–363

---

CD 541.132.3 : 661.183.12

*Stanisavlievici, L.* : **Le domaine optimum du pH des échangeurs d'ions**

Energetica 20 (1972), no. 8, p. 363–368

---

CD 621,165 :621.317.39 :5317.

*Burdeți, D.* : **Mesurage de petits déplacements des turbines K–200–130–1**

On présente les traducteurs utilisés pour mesurer les petits déplacements des turbines K–200–130–1 (déplacements axiaux et dilatations relatives). On donne ensuite le calcul des circuits magnétiques des traducteurs, des données expérimentales sur leur étalonnement et on propose de poursuivre ces études à l'avenir.

Energetica 20 (1972), no. 8, p. 369–373

---

CD 532.528 : 621.187.131

*Nabijovici, A.* : **Comment éviter la cavitation des pompes d'alimentation en cas d'utilisation des schémas par tranche.**

Energetica 20 (1972), no. 8, p. 374–382


# CONTENTS


DC 621.311.161 : 517 : 681.3

*Dimo, Paul* : **The solution given by nodal analysis in case of real-time calculations and of large interconnections**

Here are some new developments of nodale analysis to establish the state of interconnected power systems. The single-load REI equivalent is the small model of a system. The model allows for off and on-line analyses, studies of simulated conditions, incident consequences and the deducing of indicators featuring conditions. The association of nodal images permits an intuitive visualising of physical phenomena.

Energetica 20 (1972), no. 8, p. 333–341

---

DC 621.31142 :621.311.21(498)

*Rașcu, P.* : **Switchyards and transformer substations at the Iron Gates Hydro-electric Power Plant. Power diagram and building solutions adopted**

This article features the main solutions applied to solve problems raised by the building of the Iron Gates Hydro-electric Power Plant.

Energetica 20 (1972), nr. 8, p. 342–346

---

DC 621.316.004.64 :519.2

*Stein, M.* and *Vilcereanu, A.* : **Some considerations on the mode of determining the safety indicators of electricity supply diagrams**

The authors consider the influence of errors due to the data fund required to determine safety indicators, upon the calculation and the results of the calculation of system safety

Energetica 20 (1972), nr. 8, p. 346–352

---

DC 621.31.001.2.004.64 :519.2

*Albert, H.* : **Some of the aspects to be considered when approaching the safety calculation of some installations**

This paper presents some of the aspects of the safety calculation of power systems also taking into account stand-by, repairs done on installations and their interdependency.

Energetica 20 (1972), nr. 8, p. 353–358

---

DC 621.31.004.64 :519.2

*Diatcu, E.* and *Dobrescu, D. M.* : **The analysis of some structural models of operating safety (with applications to energetics)**

The authors try to establish the safety level of the component parts belonging to a complex as related to the safety level imposed on this complex.

Energetica 20 (1972), nr. 8, p. 358–363

---

DC 541.132.3 :661.183.12

*Stanisavlievici, L.* : **The optimal pH range of ion exchangers**

Energetica 20 (1972), nr,. 8, p. 363–368

---

DC 621.165 :621.317.39 :531.7

*Burdeți, D.* : **The measuring of small shifts in K–200–130–1 turbines**

This article discusses transducers used to measure small shifts (axial shifts and relative expansion) in K–200–130–1 turbines. Also given are the calculation of the magnetic circuits of the transducers, experimental data regarding the calibration of the transducers and some proposals for future studies in this field.

Energetica 20 (1972), nr. 8, p. 369–373

---

DC 532.528 :621.187 :131

*Nabijovici, A.* : **How to avoid the cavitation of feed pumps whenever block diagrams are used.**

Energtica 20 (1972), nr. 8, p. 374–382

# Soluțiile analizei nodale în cazul calculului în timp real și al interconexiunilor vaste

Dr. ing. **Paul Dimo***)

Odată cu apariția sistemelor vaste energetice, rezultate în urma interconexiunilor, o nouă tehnică de calcul și de studiu este pe cale de a se introduce în practica calculului digital. Necesitatea acestei noi tehnici a rezultat în urma evoluției și a experienței cîștigate cu calculatoarele cifrice, din următoarele motive:

— interconexiunile vaste la care s-a ajuns astăzi conduc la calcule foarte laborioase, greu de efectuat chiar pentru calculatoarele rapide și larg dimensionate;

— calculul poate fi împărțit pe mai multe calculatoare, și anume pe cele ce aparțin fiecărui sistem în parte, sistem ce formează un subsistem al interconexiunii;

— prin asemenea descompuneri se pot face analize detaliate și caracterizări pentru fiecare subsistem în parte, precum și pentru sistemul interconectat.

Într-un studiu anterior [1] s-au arătat dificultățile calculului digital în caracterizarea „on-line" a stării rețelei (normală, sigură, de prealarmă, de alarmă, de avarie) și multiplele probleme ce nu sînt încă rezolvate.

Dacă repartiția economică a puterilor pe centralele unui subsistem sau repartiția economică a puterilor pe subsisteme este o problemă cu posibilități de rezolvare „on-line" la ora actuală, problemele determinării securității sistemului în ipoteza unor incidente rămîn printre problemele principale pentru care cercetări în curs caută soluții noi și eficace, aplicabile „on-line".

## 1. Căile noi ale determinării stărilor „off" și „on-line"

După cum s-a arătat în studiul anterior [1] cele mai interesante căi de urmat pleacă de la reprezentarea subsistemelor prin echivalenți reduși, cu naturi adaptate problemelor ce se cer rezolvate. Se recurge în plus la anumiți indicatori ce pot fi calculați (sau măsurați) „on-line" pentru regimul respectiv, ale căror limite pentru caracterizarea securității sînt determinate prin numeroase calcule „off-line" [1], [2].

Acești *echivalenți reduși*, corespunzători matematic unor matrice reduse, sînt cu atît mai valoroși cu cît:

— dau răspuns la un număr mai mare de probleme;

— o stare a echivalentului sintetizează o serie de regimuri apropiate (de exemplu, aceeași sarcină totală corespunzătoare unei repartiții diferite a sarcinilor individuale pe noduri sau aceeași putere generală totală, cu repartiții diferite ale puterilor pe centrale sau aceeași putere turnantă etc.);

— permit determinarea unui număr mare de indicatori „on-line" și dau indicații asupra schimbărilor ce ar trebui făcute pentru optimizarea regimului respectiv, considerînd economicitatea și siguranța serviciului.

## 2. Echivalenți reduși ai subsistemelor (sau zonelor unui sistem)

*2.1.* Se vor considera trei categorii de echivalenți cunoscuți în literatura tehnică la ora actuală:

— *Echivalenții diakopticului* (H. Happ și G. Kron [3], [8]) ce au servit la determinarea coeficienților *B* (L. Kirchmayer [4]), utilizînd matricea redusă ce rezultă aplicînd axele de coordonate 3 ale transformărilor lui G. Kron;

— *Daisy Equivalent*, propus de școala Reed [5];

— *Echivalenții REI ai sistemului*, propuși de autor în „analiza nodală", care au fost folosiți în numeroase studii [6] pentru extragerea schemelor REI.

*2.2.* În ceea ce privește primii echivalenți, în lucrarea precedentă [1] s-a rezumat felul în care pot fi deduși echivalenții „diakopticului". Cu toate aproximațiile ce se introduc pentru simplificarea calculului [7], [8], ei au fost utilizați cu rezultate bune în studiul interconexiunilor vaste [8] și pot fi folosiți atît în cercetări „off-line", cît și „on-line". Printre aproximațiile utilizate pentru acest echivalent se citează conformitatea sarcinilor pentru reducerea la o sarcină unică, simetrizarea matricei B-urilor, simetrizare care teoretic violează conformitatea sarcinilor (conformitate care a produs desimetrizarea matricei inițiale), aserțiunea raportului $P/Q$ = constant pentru injecțiile generatoarelor în nodurile rețelei liniare și chiar pentru circulațiile puterilor; nu se rețin toate centralele sistemului în echivalent (dar neapărat cele reglante) etc. Echivalentul rezultat poate fi reprezentat geometric ca în figura 1 *a*, și conține numai curenții generatoarelor (sau puterile), în urma eliminării curentului sarcinii unice, care este egal cu suma curenților generatoarelor. Acest echivalent poate fi utilizat conform indicațiilor autorului [7], [8]:

*a*) în studii de interconexiuni proiectate pentru stabilirea înțelegerilor între părți;

*b*) în studii de interconexiuni existente pentru examinarea situațiilor și îmbunătățirea contractelor;

*) Dr. docent ing. Paul Dimo, membru corespondent al Academiei R.S. România, este consilier științific la ICENERG.



MŰSZAKI KÖNYVTÁR 1973

*c*) în studii de structuri pentru determinarea liniilor de interconexiune optimale;

*d*) în repartiţia optimă economic a sarcinilor între sisteme;

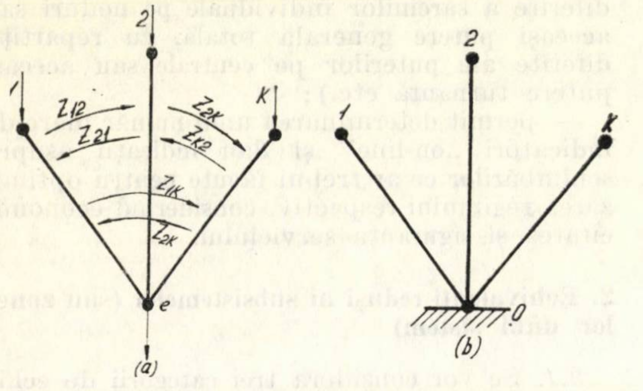



Fig. 1 : *a* — echivalentul G. Kron $Z_{mn} \neq Z_{nm}$ [3] ; *b* — echivalentul Daisy.

*e*) în simulări pentru analiza stării interconexiunii în cazul dispariţiei unei linii sau centrale reţinută în echivalent etc.

Insistăm asupra aproximaţiilor arătate, care sînt indispensabile în stabilirea matricelor reduse. Modelele rezultate pot fi ulterior verificate prin numeroase calcule off-line" pentru utilizarea lor „on-line" şi determinarea valabilităţii lor.

*2.3.* Al doilea echivalent, denumit de autori echivalentul Daisy [5], pleacă de la aproximaţia „liniarizării" tuturor sarcinilor (introducerea unor admitanţe în locul lor). A fost propus, de asemenea, în studiul interconexiunilor prin reprezentarea subsistemelor (sau zonelor) cu echivalenţi liniarizaţi, ce conţin numai injecţii de puteri în nodurile generatoare reţinute, fără nici un nod de sarcină.

Cum aceşti echivalenţi sînt înrudiţi cu ceea ce am denumit „echivalenţi REI finali", vom trece mai departe la a treia serie de echivalenţi, cele expuse mai departe despre „echivalenţii REI finali" fiind valabile şi pentru „echivalentul Daisy" (fig. 1*b*) (Echivalentul Daisy poate fi interpretat şi ca o schemă REI cu nodul central „pămîntul"). Trecînd la echivalenţii REI de sistem, se vor examina doi asemenea echivalenţi, şi anume :

— echivalentul REI final;
— echivalentul REI cu sarcină unică.

## 3. Echivalentul REI final

Acest echivalent presupune toate sarcinile liniarizate (impedanţe). În această ipoteză se reduc [6] toate nodurile de sarcini şi se ajunge la o schemă finală redusă, în care sînt păstrate numai nodurile „generatoare" sau considerate ca atare şi nodul pămînt (fig. 2). El poate fi folosit :

— La determinarea regimurilor prin metoda numită de autor a „iteraţiei curenţilor de scurtcircuit" (produsul YE) [6], [9]. Metoda este similară cu cea propusă de şcoala Reed (S.U.A.) [5], utilizînd echivalentul Daisy.

— La determinarea stării unei interconexiuni, prin înlocuirea subsistemelor cu asemenea echivalenţi.

— Din experienţa cîştigată [5], [6], calea pare să fie avantajoasă pentru conducerea calculelor şi intuitivă prin faptul că modelul sistemului redus are o natură apropiată de cea a sistemului real.

Cu toate că, cu ajutorul unor suplimente de calcul necesare restabilirii unor noduri în echivalent, utilizarea echivalentului final ar putea fi extinsă şi la alte probleme (de exemplu : determinări de curenţi de scurtcircuit în anumite noduri, extrageri de imagini nodale etc. [6]), graniţa extinderii este hotărîtă de faptul că sarcina a fost integrată în laturile liniare ale echivalentului. De aceea apare cu mult mai interesant „echivalentul REI cu sarcină unică" cu ajutorul căruia se poate obţine un număr mai mare de informaţii.

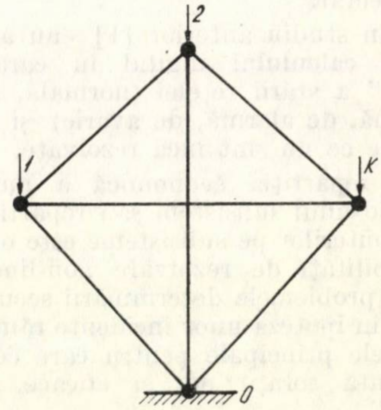


Fig. 2. Echivalentul REI final ($Y_{mn} = Y_{nm}$)

## 4. Echivalentul REI cu sarcină unică: echivalentul „deliniarizat"

Acest echivalent poate fi considerat un echivalent REI de sistem „deliniarizat" în ceea ce priveşte sarcinile reprezentate în nodul sarcinii unice (fig. 3 a şi b).

Într-adevăr, odată obţinut echivalentul REI cu sarcină unică în nodul fictiv unic al sarcinii totale, se consideră pentru acest nod tensiunea nodală rezultată şi injecţia de curent a sarcinii rezultate fără nici o lege de dependenţă între ele. Astfel, pentru simulări de regimuri cu ajutorul acestui echivalent, se pot decide tensiunea nodului sarcinii unice (notat cu *e* în figura 3), precum şi puterea sa activă şi reactivă.

Efectul liniarizării rămîne manifest numai în determinarea laturilor şi a circulaţiei puterilor injectate în aceste laturi, dar *nu mai apare*

*în legile de variaţie a sarcinii finale* rezultate în nodul *e*, sarcină egală riguros cu sarcina totală a sistemului. El are în plus următoarele calităţi :

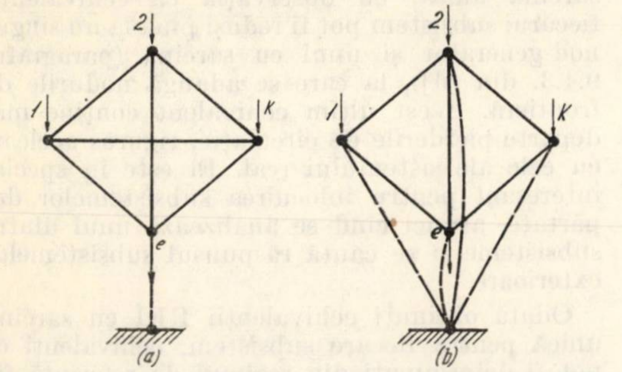



Fig. 3 : *a* — echivalentul REI cu sarcină unică dedus din echivalentul final ; *b* — echivalentul cu sarcină unică dedus din regimul iniţial. Conservă şi laturi liniare „nod-pămînt" notate cu linii întrerupte.

*a*) Conţine în regimul de referinţă pierderi de circulaţie în laturile sale egale cu pierderile de circulaţie reale. În regimuri simulate aceste pierderi sînt foarte apropiate, mai ales pentru sisteme în care ele sînt mici faţă de puterea sarcinii totale, cum este întotdeauna cazul reţelelor de energie.

*b*) Deliniarizarea sarcinii totale nu afectează sarcinile care au legi de variaţie identice cu impedanţele (capacităţile liniilor ce apar în schema II echivalente), deoarece acestea pot fi reţinute mai departe ca laturi ale echivalentului (laturi nod-pămînt), figurate punctat în figura 3 *b* [6].

*c*) Faptul că pierderile de circulaţie reale sînt regăsite în laturile echivalentului permite o caracterizare a repartiţiei acestor pierderi şi deducerea unor formule de pierderi (coeficienţi *B*), aproximînd suficient de exact aceste pierderi în regimuri simulate [6].

*d*) În sfîrşit, algoritmul de determinare a acestui echivalent poate constitui, cu unele completări, o cale unitară de soluţionare a unei serii bogate de probleme (scurtcircuite, stabilitate etc.) [6], precum şi de determinare a indicatorilor de caracterizare a stării regimului analizat, despre care ne vom ocupa mai departe.

## 5. Determinarea echivalenţilor REI cu sarcină unică, în cazul configuraţiei cu multicalculatoare

Determinarea echivalenţilor REI pentru fiecare subsistem, precum şi interconectarea lor, reprezentînd modelul redus al sistemului interconectat, se poate face pe mai multe căi, decise de organizarea informaţiilor disponibile asupra „regimului de referinţă" şi de programele deja existente în cazul divizării calculelor pe multicalculatoare. Prima soluţie şi cea mai simplă rezultă în cazul în care sistemul respectiv, cu ajutorul calculelor „off-line" sau „on-line", are programe pentru determinarea regimurilor fiecărui subsistem şi ale sistemului interconectat.

*5.1.* Odată cunoscut un regim de referinţă, echivalentul REI cu sarcină unică se deduce pe căile indicate [6] din acest regim, pentru fiecare subsistem în parte, cu următoarele precauţii :

— Pentru fiecare subsistem se stabileşte nodul sarcinii unice cu sarcina totală „deliniarizată", dar cu păstrarea admitanţelor nod-pămînt (sarcini liniare), în toate nodurile tratate ca noduri generatoare (fig. 3 *b*). Rezultă că nu trebuie utilizat echivalentul final (cap. 9, din [6]), ci calea directă ce pleacă de la reţeaua reală iniţială. Astfel, pentru reţele de foarte înaltă tensiune, se pot păstra cu legile lor reale de variaţie sarcinile rezultate din picioarele schemelor $\pi$ echivalînd linii sau transformatoare reglabile importante.

— Pentru fiecare subsistem se tratează ca noduri „generatoare" ce se reţin în echivalentul redus toate nodurile de interconexiune, pe care le vom denumi de „*frontieră*", noduri la care este legat prin linii sistemul respectiv la sistemele vecine (fig. 4, nodurile *m* şi *n*).

Astfel, fiecare subsistem îşi determină matricea [*y*] rezultată pentru echivalentul respectiv dintr-un regim cunoscut ; în ecuaţia nodală respectivă apare în nodurile de frontieră

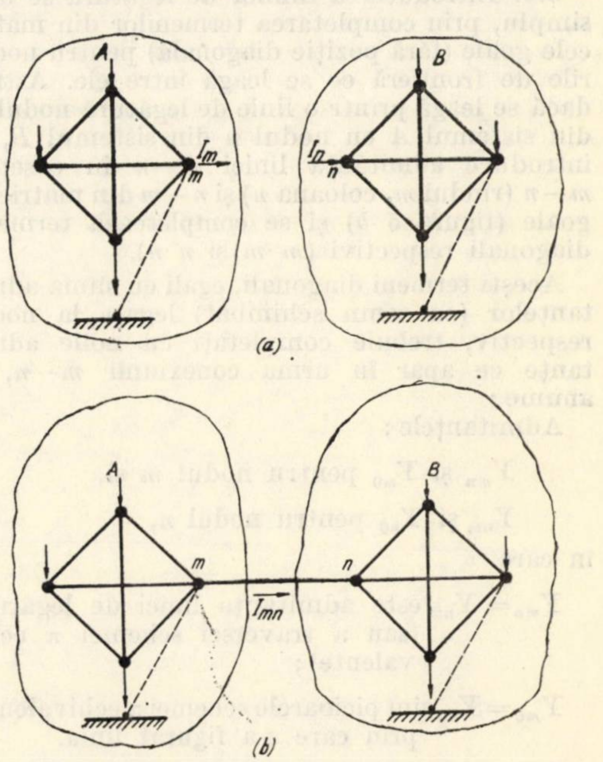



Fig. 4. Interconexiune între sistemele *A* şi *B* : *a* — sistemele izolate cu o injecţie de curent în nodurile de frontieră corespunzătoare liniei de legătură neintrodusă în model ; *b* — introducerea liniei de legătură cu anularea curenţilor injectaţi în nodurile de frontieră proveniţi din exterior.

şi o injecţie de curent ce corespunde curentului liniei de interconexiune (pozitiv sau negativ). Interconectarea echivalenţilor rezultă simplu prin scrierea matricei $[y]$ a sistemului interconectat, după cum urmează (fig. 5):

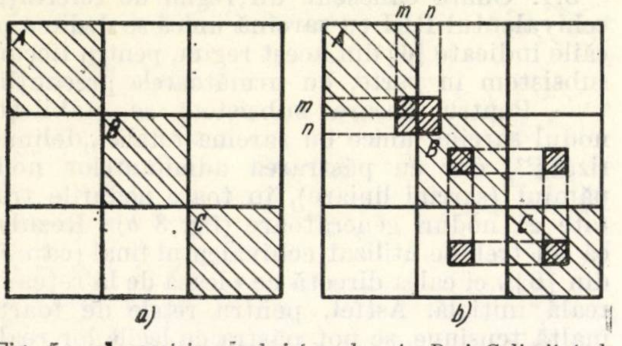



Fig. 5: a) — matricea subsistemelor $A$, $B$ şi $C$ limitate la nodurile de frontieră fără liniile de interconexiune (sisteme izolate); $b$ — completările matricei pentru figurarea interconexiunii. S-au introdus două linii: una între subsistemele $A$ şi $B$; o a doua între subsistemele $B$ şi $C$.

În matricea sistemului se introduc în prima etapă matricele $[y]$ ale fiecărui subsistem, cu poziţia lor diagonală, aşa cum se vede în figura 5 $a$ (nu au legături între ele). Interconexiunea nu este încă reprezentată în această matrice, în care nu figurează liniile de legătură dintre nodurile de frontieră (în figura 5 $a$ pătratele goale au termeni nuli).

*5.2.* Introducerea liniilor de legătură se face simplu, prin completarea termenilor din matricele goale (fără poziţie diagonală) pentru nodurile de frontieră ce se leagă între ele. Astfel, dacă se leagă printr-o linie de legătură nodul $m$ din sistemul $A$ cu nodul $n$ din sistemul $B$, se introduce admitanţa liniei $m-n$ în casetele $m-n$ (rîndul $m$, coloana $n$) şi $n-m$ din matricele goale (figura 5 $b$) şi se completează termenii diagonali respectivi ($m \cdot m$ şi $n \cdot n$).

Aceşti termeni diagonali, egali cu suma admitanţelor (cu semn schimbat) legate la nodul respectiv, trebuie completaţi cu noile admitanţe ce apar în urma conexiunii $m-n$, şi anume:

Admitanţele:

$Y_{mn}$ şi $Y_{m0}$ pentru nodul $m$ şi

$Y_{nm}$ şi $Y_{n0}$ pentru nodul $n$,

în care

$Y_{mn}= Y_{nm}$ este admitanţa liniei de legătură (sau a traversei schemei $\pi$ echivalente);

$Y_{m0}= Y_{n0}$ sînt picioarele schemei $\pi$ echivalente, prin care s-a figurat linia.

În figura 5 $b$ se observă casetele matricelor în care se fac completările arătate. În acelaşi timp curenţii injectaţi (de linia $m-n$) în nodurile $m$ şi $n$ devin nuli în urma interconexiunii şi în matricea-coloană a curenţilor, corespunzătoare matricei admitanţelor din figura 5 $b$*).

Din cele expuse rezultă modelul matematic (fig. 5) al interconexiunii echivalenţilor REI cu sarcină unică, cu observaţia că echivalenţii fiecărui subsistem pot fi reduşi pînă la un singur nod-generator şi unul cu sarcină (paragraful 9.4.3. din [6]), la care se adaugă nodurile de frontieră. Acest ultim echivalent conţine mai departe pierderile de circulaţie, riguros aceleaşi cu cele ale sistemului real. El este în special interesant pentru înlocuirea subsistemelor depărtate, atunci cînd se analizează unul dintre subsisteme şi se caută răspunsul subsistemelor exterioare.

Odată obţinuţi echivalenţii REI cu sarcină unică pentru fiecare subsistem, echivalenţi ce pot fi determinaţi din regimul de referinţă fie pe un calculator central, fie cu participarea multicalculatoarelor repartizate pe subsisteme, atît ,,off-line'' cît şi ,,on-line'', după posibilităţile pe care le oferă organizarea informaţiilor, ei pot fi utilizaţi în regimuri simulate pentru analiza regimurilor interconexiunii, precum şi a fiecărui sistem în parte.

## 6. Variante pentru obţinerea echivalenţilor REI cu sarcină unică atunci cînd nu se cunoaşte un regim de referinţă al întregului sistem interconectat (sistem cu multicalculatoare)

Considerăm calea regimului de referinţă cunoscut arătată mai sus (determinat ,,off'' sau ,,on-line'') ca cea mai interesantă, deoarece la ora actuală în sistemele electroenergetice există mijloace şi programe pentru determinarea regimurilor de la care se poate pleca. Vom enumera totuşi cîteva variante ce ar putea fi interesante în studiile de proiectare a unei interconexiuni sau chiar pentru analize ,,on-line'', atunci cînd se dispune la centrele de calcul ale subsistemelor de un anumit set de informaţii cu redundanţele necesare pentru control şi verificări.

### *6.1. Varianta I. Fiecare subsistem cunoaşte un regim rezultat din funcţionarea lui izolat*

Evident, într-un asemenea caz subsistemul îşi construieşte echivalentul REI cu sarcină unică prin procedeul de ,,liniarizare'', de eliminare a nodurilor de sarcină şi de ,,deliniarizare'' în final a sarcinii din nodul de sarcină unică, prin calea cunoscută din ,,analiza nodală'' [6].

Singura precauţie este menţinerea în echivalent a nodurilor de frontieră ce se vor interconecta prin linii de legătură, bineînţeles fără a considera aceste linii.

*) În cazul în care nodurile de frontieră sînt şi noduri ,,generatoare'', injecţia de curent respectivă, şi numai aceasta, va figura mai departe în matricea-coloană a curenţilor.

Odată stabilite matricele reduse [$y$] ale fiecărui subsistem, matricea sistemului interconectat rezultă prin organizarea acestor matrice în matricea generală a sistemului în care apar în configuraţia diagonală arătată în figura 5 *a*. Se adaugă apoi termenii ce rezultă din liniile de interconexiune conform celor arătate mai sus, linii reprezentate de o simplă admianţă sau de un $\pi$ echivalent. Aceasta se facet prin completarea matricei sistemului cu termenii nediagonali egali cu valorile admitanţelor liniei (sau traversei schemei $\pi$ echivalente) şi adăugarea noilor admitanţe la termenul diagonal pentru nodurile de frontieră, după cum s-a arătat mai sus (traversa $\pi$ şi unul dintre picioare). Odată obţinută matricea [$y$] a întregului sistem, se pot simula regimurile dorite prin variaţia puterii sarcinilor şi a generatoarelor reţinute în fiecare din sisteme etc. sau pentru diverse schimbări de structură a interconexiunii.

### 6.2. *Varianta II. Fiecare subsistem cunoaşte injecţiile de putere activă şi reactivă primite din afară în nodurile de frontieră*

Acest caz este la fel de simplu ca şi cel din varianta I. Nodurile de frontieră sînt tratate ca noduri generatoare în fiecare subsistem şi păstrate în echivalent, calculîndu-se astfel matricea [$y$] a echivalentului cu sarcină unică prin căile arătate în analiza nodală [6].

Matricea [$y$] a sistemului rezultă prin adăugarea, aşa cum s-a arătat (fig. 3), a liniilor de interconexiune (cu scăderea injecţiilor de curent respective ce s-au menţinut explicit în matricea-coloană a curenţilor).

Se simulează apoi regimurile dorite în fiecare subsistem şi se obţin rezultatele pe ansamblul interconexiunii, prin metode folosite pentru determinarea regimurilor pe noul model redus.

### 6.3. *Varianta III. Tăierea nodurilor de frontieră*

Această metodă, propusă de Dy-Lyacco (S.U.A.) pentru calculul regimului unui sistem prin tăierea lui în subsisteme (zone) [2], poate fi utilizată cu adaptări ce vor fi arătate mai jos pentru cazul modelelor REI cu sarcină unică, utilizate pentru fiecare subsistem.

Liniile de legătură dintre sisteme se integrează în subsisteme, despărţirea subsistemelor între ele efectuîndu-se prin tăierea nodurilor de frontieră, comune în acest caz la două sau mai multe subsisteme (fig. 6). Astfel, în figura 6 linia de interconexiune *ab* se consideră integrată în subsistemul $B$ şi se taie apoi nodul de interconexiune $a$ în două, o parte afectată subsistemului $A$ şi a doua parte afectată subsistemului $B$. (În figura 6 s-a introdus o a doua tăietură pentru subsistemul $C$, pe care nu o considerăm deocamdată).

În ipoteza că atît sistemul $A$ cît şi sistemul $B$ cunosc puterile injectate de toate centralele şi puterea sarcinilor la un moment dat, fiecare subsistem îşi determină regimul printr-o metodă

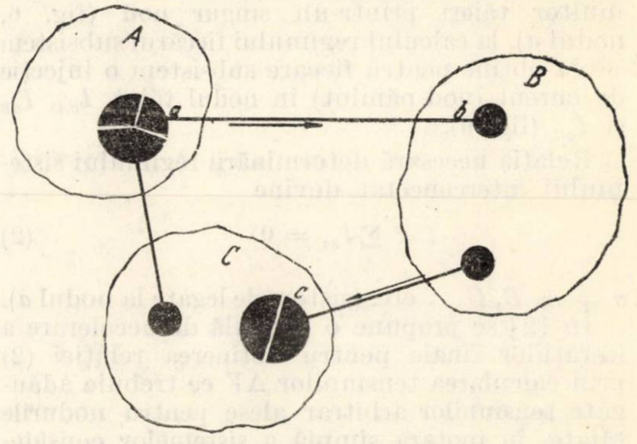



Fig. 6. Tăierea prin noduri. (În cazul celor trei subsisteme interconectate din figură tăietura s-a făcut prin nodurile *a* şi *c*, liniile de interconexiune fiind considerate ca făcînd parte din subsistemele astfel despărţite.)

oarecare, considerînd însă ca nod de echilibrare nodul $a$, prin care s-a efectuat despărţirea.

Pentru nodul $a$ tăiat se fixează aceeaşi tensiune de referinţă pentru ambele sisteme sau toate sistemele, în cazul în care sînt legate mai multe (fig. 6).

Odată obţinut regimul fiecărui subsistem, se determină echivalentul REI cu sarcină unică pentru fiecare dintre subsisteme, păstrîndu-se bineînţeles şi nodul $a$ în fiecare echivalent. Va rezulta în fiecare echivalent REI al subsistemelor $A$ şi $B$ o injecţie de curent (nod-pămînt) în nodul $a$ : $I_{aA}$ şi $I_{aB}$. Dacă :

$$I_{aA} + I_{aB} = 0, \qquad (1)$$

regimurile calculate sînt chiar cele reale în cazul interconexiunii celor două sisteme. Dacă $I_{aA} \neq I_{aB}$, se reia calculul, dar de rîndul acesta pe reţelele reduse ale echivalentului, cu fixarea unei alte tensiuni de referinţă pentru nodul $a$, care să conducă la satisfacerea relaţiei (1).

Se vede că, practic, calculul se face în două trepte :

*Treapta 1* — calculatorul fiecărui subsistem în parte determină echivalentul REI cu sarcină unică, cu păstrarea nodului de frontieră.

*Treapta* 2 — se adaugă un calcul iterativ, dar utilizînd matricele reduse ale echivalenţilor, pînă la găsirea regimului sistemului interconectat prin satisfacerea relaţiei (1).

Aceasta a doua treaptă poate fi determinată fie de un calculator central, fie de unul dintre calculatoarele subsistemelor. Pentru o înţelegere simplă a metodei s-a dat mai sus cazul a două sisteme. Calea arătată poate fi utilizată în cazul unei interconexiuni multiple ca în

figura 6, cu tăierea prin noduri de frontieră şi integrarea liniilor în subsisteme.

Nodurile de echilibrare vor fi întotdeauna alese printre nodurile tăiate, pentru care se fixează iniţial o tensiune arbitrară. În cazul mai multor tăieri printr-un singur nod (fig. 6, nodul *a*), la calculul regimului fiecărui subsistem se va obţine pentru fiecare subsistem o injecţie de curent (nod-pămînt) în nodul tăiat $I_{aA}$, $I_{aB}$ şi $I_{aC}$ (fig. 6).

Relaţia necesară determinării regimului sistemului interconectat devine

$$\sum_{s} I_{as} = 0 \qquad (2)$$

$s = A, B, C\ldots$ etc. (sistemele legate la nodul *a*).

În [2] se propune o formulă de accelerare a iteraţiilor finale pentru obţinerea relaţiei (2) prin calcularea tensiunilor $\Delta V$ ce trebuie adăugate tensiunilor arbitrar alese pentru nodurile tăiate, în ipoteza simplă a sistemelor considerate liniare, plecînd de la valorile găsite în calculul din treapta 1.

6.4. *Variante utilizînd metoda „iteraţiei curenţilor de scurtcircuit" în determinarea regimului subsistemelor şi a regimului sistemului interconectat. Calcul unitar*

Este evident că în toate variantele arătate mai sus regimurile subsistemelor pot fi determinate prin metoda denumită de noi *„iteraţia curenţilor de scurtcircuit"*, prin care se obţine fără calcule suplimentare, fie echivalentul final, fie echivalentul cu sarcină unică, după cum în calculul iterativ s-a utilizat unul sau celălalt (cap. 10, par. 10.1 din [6]). Dacă se utilizează în calculul iterativ echivalentul final, pentru care s-a cîştigat deja o experienţă promiţătoare [6], atunci este nevoie de un surplus redus de calcul în determinarea echivalentului cu sarcină unică. Este însă preferabil să se utilizeze echivalentul cu sarcină unică, care permite şi menţinerea sarcinilor „liniare" în nodurile modelului redus (admitanţe nod-pămînt), deoarece astfel sînt reprezentate corect sarcinile corespunzătoare picioarelor schemelor π echivalente, provenite din schemele corespunzătoare liniilor sau transformatoarelor.

Trebuie adăugat faptul că sînt posibile şi noi variante asupra cărora nu ne vom opri în cazul utilizării metodei iteraţiei curenţilor de scurtcircuit, fie prin tăierea sistemului prin noduri, ca la 6.3., cu exprimarea relaţiilor dintre mărimile ce apar în nodurile de frontieră tăiate, fie limitînd sistemele la nodurile de frontieră din interiorul lor şi adăugînd apoi un model reprezentativ al legăturilor, ca în metoda Kron-Happ [8]. În ambele cazuri soluţia va fi facilitată prin aproximaţiile ce sînt permise pentru asemenea modele, atunci cînd sînt construite în anumite scopuri.

În toate cazurile în care s-a utilizat în determinarea stărilor iteraţia curenţilor de scurtcircuit, odată aflat regimul căutat se obţin o serie de informaţii de caracterizare a regimului cu suplimente neînsemnate de calcul. O parte au fost deja arătate în lucrări precedente (par. 10.1.1. din [6]). Cum noua evoluţie a caracterizării în timp real a stărilor se îndreaptă către stabilirea unor indicatori pentru o orientare simplă şi rapidă a operatorilor, în cele ce urmează se va încerca o sinteză a tuturor posibilităţilor pe care le oferă modelele REI reduse în cazul interconectării lor.

## 7. Posibilităţile de caracterizare a stării şi a comportării sistemelor interconectate cu ajutorul modelelor REI

În primul rînd prin interconectarea echivalenţilor REI de sistem se pot analiza toate problemele expuse în paragraful 2.2. a, b, c, d, e, calculul putînd fi împărţit „off" şi „on-line", pe mai multe calculatoare sau pe unul singur.

*7.1.* Metodele pentru determinarea matricei coeficienţilor $[B]$ au fost detaliate în lucrări anterioare. Repartiţia economică în interiorul subsistemului sau între subsisteme, cu considerarea pierderilor de circulaţie, nu pune nici o problemă specială prin înlocuirea subsistemelor cu echivalenţi REI de sistem. Dacă se utilizează echivalentul cu sarcină unică, rezultă posibilităţi în plus prin simulări în care sînt introduse diverse variaţii în sarcina totală a subsistemelor. Trebuie adăugat că şi pe această cale nu trebuie reţinute toate nodurile generatoare. Vor figura însă neapărat cele corespunzătoare centralelor importante reglante, restul putînd fi fie integrate într-un singur generator echivalent pe căile arătate [6], fie considerate în anumite noduri de sarcină ce se reduc. Aproximarea reducerii numărului nodurilor „generatoare" se decide conform necesităţilor exactităţii finale sau a problemei speciale ce se examinează.

*7.2.* În al doilea rînd se pot stabili o serie de *indicatori simpli*, dar care dau o orientare calitativă generală a evoluţiei sistemului. Asemenea indicatori interesează în special atunci cînd se cercetează efectele unor anumite schimbări în sistem, ce pot fi simulate şi în timp real, plecînd de la starea cunoscută „on-line".

Asemenea indicatori seamănă cu cei utilizaţi în medicină, care dau indicaţii generale, ce trebuie uneori completate cu alte cercetări, pe care însă indicatorul le-a orientat semnalizînd anumite categorii de stări. De exemplu :

— *temperatura* corpului uman depăşind o anumită limită indică apariţia unei infecţii în organism ;

— *numărul pulsaţiilor* inimii în anumite intervale de timp sau variaţia acestui număr indică anumite stări anormale;

*analizele chimice, de fund de ochi* sau aspectul unor *reflexe* dau la rîndul lor alte indicaţii. ce orientează caracterizarea stării pacientului.

Este vorba despre asemenea indicatori, indicatori care pot fi uşor deduşi în timp real, prin simplicitatea lor pentru determinarea comportării sistemului. Se vor enumera cîţiva indicatori dintre cei mai simpli, *ce pot fi extraşi uşor* [6], atunci cînd regimul este găsit cu ajutorul unor echivalenţi REI cu sarcină unică, pentru care sînt memorate matricele reduse [$y$].

### 7.3. *Indicatorii curenţilor de scurtcircuit*

a) *Curenţii de scurtcircuit cu evoluţiile lor în nodurile de frontieră.*

Se ştie că în expresia curentului dintr-un nod este conţinut atît curentul de scurtcircuit în „sarcină", cît şi „în gol" [6], considerînd ca tensiuni aplicate pe cele existente în nodurile generatoare (nu cele interne ale generatoarelor). Nu este deci nevoie de calcule în plus, ci numai de operaţii de memorizare cu separarea termenilor. Curentul de scurtcircuit într-un nod de frontieră rezultă din însumarea curenţilor de scurtcircuit proveniţi din fiecare subsistem.

Dacă s-ar dori un calcul mai exact (în general nu este necesar pentru indicator), se poate trece la reţeaua extinsă cu reactanţele interne evaluate pentru nodurile generatoare sau se poate stabili („off-line") un coeficient de multiplicare a valorii obţinute, care să aproximeze fie curentul de scurtcircuit iniţial, fie pe cel permanent.

Evoluţia valorii curentului de scurtcircuit rezultat, fără calcule în plus, în diverse regimuri simulate, indică sensul evoluţiei generale a valorilor acestor curenţi în regimurile studiate, la frontierele subsistemelor.

b) ***Curenţii de scurtcircuit cu evoluţiile lor în nodul fictiv al sarcinii unice a unui subsistem, cu considerarea sistemelor vecine.***

Acest indicator poate fi dedus prin înlocuirea sistemelor vecine ale subsistemului studiat prin scheme REI, în nodurile de frontieră (fie liniarizînd şi sarcina unică pentru deducerea acestor scheme cu eliminarea nodului fictiv, fie aproximînd schema REI la ramurile ce leagă nodurile generatoare cu nodul de frontieră pentru care avem toate valorile fără calcule suplimentare).

Este evident că acest indicator va permite aprecierea sensului evoluţiei curenţilor de scurtcircuit în interiorul subsistemului pentru diverse evoluţii ale regimului sistemului interconectat (fig. 7).

### 7.4. *Indicatorii reglajului tensiunii şi al poziţiei sistemului în legătură cu stabilitatea statică*

Cu acelaşi curent de scurtcircuit al nodurilor cu sarcină unică ale subsistemelor se obţin

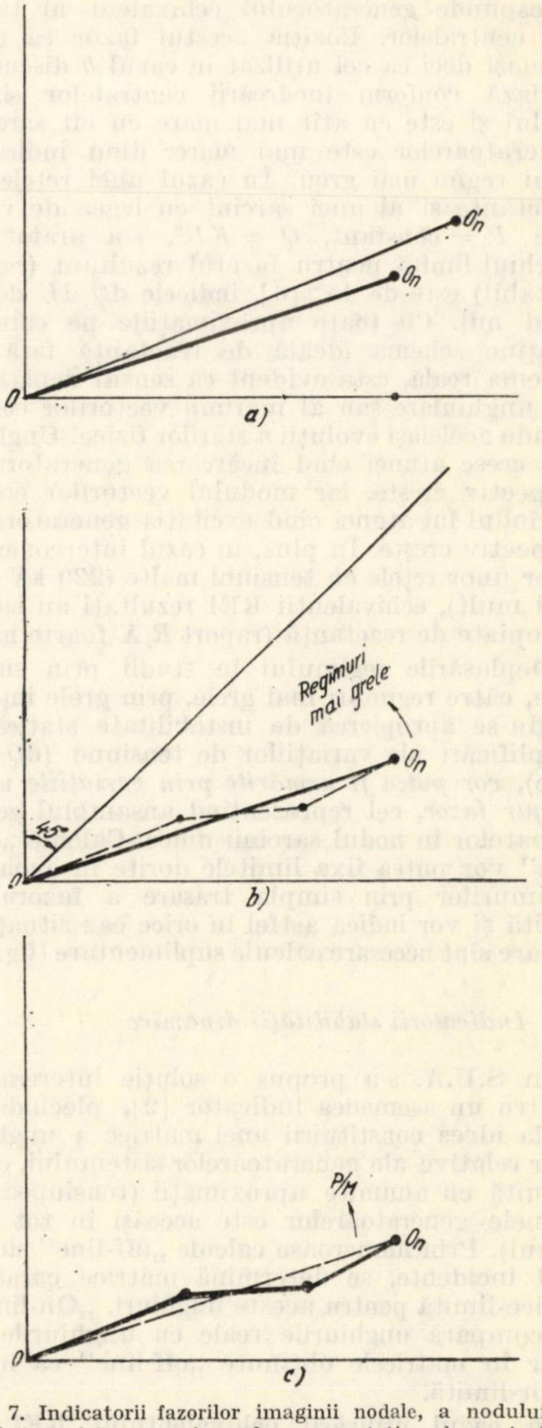



Fig. 7. Indicatorii fazorilor imaginii nodale, a nodului cu sarcină unică: *a* — fazorul reprezentativ al centralelor (modulul) indică variaţia „nivelului" curenţilor de scurtcircuit; *b* — variaţia unghiulară a aceluiaşi fazor rezultant caracterizează variaţia regimurilor în legătură cu stabilitatea statică şi rigiditatea nodurilor (variaţia indicelui $dQ/dU$ în noduri); *c* — poziţia unghiulară şi modulul fazorilor componenţi permit stabilirea indicatorilor stabilităţii dinamice. În timp real se determină şi valoarea acceleraţiei ($\Delta P/M$) pentru fiecare dintre fazorii componenţi.

indicaţii preţioase asupra *„rigidităţii nodurilor”* subsistemului şi a distanţei regimului faţă de un regim instabil static. Într-adevăr, în imaginea nodală a nodului cu sarcină unică, rezultanta fazorilor curenţilor de scurtcircuit corespunde generatorului echivalent al tuturor centralelor. Poziţia acestui fazor ca fază (acelaşi deci ca cel utilizat în cazul *b* discutat) variază conform încărcării centralelor sistemului şi este cu atît mai mare cu cît sarcina generatoarelor este mai mare, dînd indicaţia unui regim mai greu. În cazul unei reţele de reactanţe şi al unei sarcini cu legea de variaţie $P$ = constant, $Q = KU^2$, s-a arătat că unghiul-limită pentru fazorul rezultant (regim instabil) este de 45° [6], indicele $dQ/dU$ devenind nul. Cu toate aproximaţiile pe care le conţine schema ideală de reactanţă faţă de schema reală, este evident că sensul deplasărilor unghiulare sau al mărimii vectorilor corespunde aceleiaşi evoluţii a stărilor fizice. Unghiurile cresc atunci cînd încărcarea generatorului respectiv creşte, iar modulul vectorilor creşte la rîndul lui atunci cînd excitaţia generatorului respectiv creşte. În plus, în cazul interconexiunilor unor reţele cu tensiuni înalte (220 kV sau mai mult), echivalenţii REI rezultaţi au laturi apropiate de reactanţă (raport $R/X$ foarte mic).

Deplasările regimului în studii prin simulare, către regimuri mai grele, prin grele înţelegîndu-se apropierea de instabilitate statică şi amplificări ale variaţiilor de tensiune ($dQ/dU$ mic), *vor putea fi urmărite prin variaţiile unui singur fazor*, cel reprezentînd ansamblul generatoarelor în nodul sarcinii unice. Calcule „off-line” vor putea fixa limitele dorite în evoluţia regimurilor prin simpla trasare a fazorului-limită şi vor indica astfel în orice caz situaţiile în care sînt necesare calcule suplimentare (fig. 7).

### 7.5. *Indicatorii stabilităţii dinamice*

În S.U.A. s-a propus o soluţie interesantă pentru un asemenea indicator [2], plecîndu-se de la ideea constituirii unei matrice a unghiurilor relative ale generatoarelor sistemului, constituită cu anumite aproximaţii (tensiunea la bornele generatoarelor este aceeaşi în tot sistemul). Prin numeroase calcule „off-line” simulînd incidente, se determină matrice caracteristice-limită pentru aceste unghiuri. „On-line”, se compară unghiurile reale cu unghiurile ce apar în matricele obţinute „off-line” ca indicator-limită.

În cazul utilizării echivalentului REI cu sarcină unică, se pot aproxima cu multă uşurinţă, cu ajutorul componentelor fazorilor curentului de scurtcircuit din imaginea nodală, unghiurile-limită ce pot conduce la instabilitate dinamică în cazul unor incidente (scurtcircuite trifazate). Bineînţeles, în acest caz, se determină prin calcule „off-line”, simulînd incidente într-o serie de noduri selectate, consecinţele ce rezultă. În calculele „off-line”, care pot fi oprite la determinarea primei oscilaţii a rotoarelor, se vor introduce bineînţeles caracteristicile protecţiei şi unele schimbări de structură ce urmează incidentului (eliminări de linii etc.) (fig. 7).

Odată obţinut un asemenea indicator, care va conţine unele aproximaţii şi nu va putea acoperi niciodată toate posibilităţile de evoluţie, este posibil să se adauge „on-line” un calcul simplu de control prin determinarea indicatorilor propuşi de autor [6], indicînd acceleraţia rotoarelor în momentul iniţial al incidentului. Acest indicator are expresia $\Delta Pi/M$, $\Delta Pi$ fiind variaţia bruscă după incident a puterii debitate de generator ($P_{electric} - P_{mecanic}$), iar $M$—timpul de lansare. În cazul cel mai grav al scurtcircuitului trifazat la borne, această expresie ia forma simplă:

$$\frac{\Delta P_i}{M} = \frac{P}{M} \qquad (3)$$

în care $P$ este chiar puterea debitată de generator în momentul anterior incidentului, putere cunoscută în timp real.

Rezultă, utilizînd şi acest indicator, o cale extrem de simplă în două trepte:

*Prima treaptă*: se compară „on-line” unghiurile fazorilor corespunzători centralelor cu matricea-indicator determinată „off-line” pentru aceste unghiuri.

*A doua treaptă*: se calculează „on-line” indicatorul $P/M$ pentru centrale, care se obţine foarte uşor, puterile centralelor fiind cunoscute. Acest indicator dă prin valoarea lui o indicaţie precisă asupra primei oscilaţii.

În cazul în care prin aceste două operaţii simple se ajunge la unele concluzii pesimiste, se poate adăuga o a treia treaptă de calcul, de rîndul acesta bine orientată de primele două trepte asupra cazurilor periculoase, ceea ce va reduce calculul în mod esenţial, pentru a-l face eventual posibil chiar „on-line”.

### 7.6. *Indicatorii consecinţelor schimbărilor de structură*

Echivalentul REI cu sarcină unică (fig. 3) păstrează o topologie identică în cazul schimbării structurii sistemului (ieşiri de linii din circuit etc.). Schimbarea apare numai în valorile admitanţelor laturilor ce leagă nodurile. Pentru determinarea uşoară a acestor schimbări în calcule „on-line”, se pot determina „off-line” anumiţi coeficienţi constanţi, cu care vor trebui înmulţite valorile admitanţelor laturilor în cazul unor schimbări importante de structură (ieşiri de linii importante din circuit etc.).

7.7. *Considerarea sistemelor vecine pentru calcule „on-line" cu utilizarea indicatorilor pentru un subsistem*

Felul în care trebuie considerate sistemele vecine în determinarea indicatorilor rezultă simplu, din aproximaţiile permise în problema respectivă. În general, se poate afirma că este suficient să se reţină componenta schemei REI, dată de sistemele vecine, în fiecare dintre nodurile de frontieră, grupîndu-se eventual generatoarele într-un număr mic de generatoare echivalente, mergînd pînă la unul singur pentru sistemele cu influenţă mică. Această grupare se face [6] cu un calcul extrem de redus, iar pe imaginea nodală rezultă din însumarea geometrică a fazorilor. Asemenea operaţii nu pun probleme în timp real.

7.8. *Vizualizarea stărilor şi a evoluţiei lor*

Nu s-a insistat asupra posibilităţilor de „vizualizare" a stărilor ce rezultă, în cazurile de mai sus, din examinarea aspectului imaginii nodale a nodului cu sarcină unică sau a nodurilor de frontieră etc. Procedeul „vizualizării sistemului prin nodurile reale" şi-a dovedit deja fertilitatea [6], [10], [11], [12], cu toate că nu a fost încă introdus „on-line". Posibilităţile simple de a obţine în timp real asemenea imagini [10] permit să se afirme că analiza nodală ar putea constitui o cale nouă, de o eficienţă deosebită în cazurile analizelor „on-line" cu utilizarea indicatorilor, prin rapiditatea cu care un operator avizat poate caracteriza prin examinarea unei diagrame simple starea şi posibilităţile de comportare a regimului.

**Concluzii**

Din cele expuse rezultă posibilităţile deosebite de utilizare a „analizei nodale" atît în cazul studiului comportării sistemelor interconectate, cît şi în cazul caracterizărilor în timp real a stărilor şi a posibilităţilor de evoluţie a subsistemelor şi a sistemului interconectat. Repartiţia economică a puterilor între sisteme, consecinţele declanşării liniilor de interconexiune şi ale altor incidente din interiorul subsistemelor (sau al reţelei de interconexiune), examinarea intuitivă prin imagini nodale şi indicatori sintetici orientativi pot fi făcute prin folosirea „echivalenţilor REI de sistem", care alcătuiesc în cazul „analizei nodale" modelul redus al fiecărui subsistem. Cu toate că numai o parte dintre noile căi propuse aici au fost încercate, şi aceasta numai „off-line", pînă astăzi [6], se poate aprecia din rezultatele obţinute că aceste noi dezvoltări alcătuiesc o cale nouă ce s-ar putea dovedi de o eficacitate deosebită în conducerea şi supravegherea sistemelor interconectate în timp real [10], [11], [12].

**Bibliografie**


[1] D i m o, P a u l. *Concepte noi în analiza reţelelor de energie. Analiza în timp real.* În: Energetica, nr. 5, 1972, p. 177—183.

[2] D y L y a c c o, E. T. *Control of Power-Systems— Via Multilevel Concept Systems.* Research Center Western. Reserve University, Cleveland, Ohio, 1968.

[3] K r o n, G. *Diakoptics.* Waterlow & Sons Limited, London, 1963.

[4] K i r c h m a y e r, E. L. *Economic Operation of Power System.* John Wiley & Sons, Inc. New York, 1968.

[5] R e e d, M. B., R e e d, G., M c K i n l e y, J. L., P o l k, H. K. şi H u g o, R. V. *A Digital Approach to Power System Engineering* — part 1, 2, 3, 4. În : Trans. Amer. Inst. Electr. Engrs., t. 80, 1961, p. 198, 205, 214, 221.

[6] D i m o, P a u l. *L'analyse nodale des réseaux d'énergie.* Ed. Eyrolles, Paris, 1971.

[7] H a p p, H. H. *Multicomputer Configuration and Diakoptics Dispasy of Real Power in Power Pools.* În: I.E.E.E. Trans. on Power App. and Systems, vol. 88, nr. 7, July 1968, p. 37—42.

[8] H a p p, H. H. *The Interarea Matrix.* În : I.E.E.E. Trans. on Power App. and Systems, vol. 90, nr. 1, Jan·/Febr., 1971, p. 36—45.

[9] D i m o, P a u l. *Solution of Power Load-Flow Problems by Iteration of Short-Circuit Currents.* În : Rev. Roum. Sci. Techn. Electr. Energ., 1965, t. 10, nr. 3, p. 581—601.

[10] D i m o, P a u l. *L'Anagraphe.* În : Rev. Roum. Sci. Techn. Electrotechn. et Energ., 16, nr. 2, 1971, p. 283—292.

[11] D i m o, P a u l, G r o z a, L. şi I o n e s c u, S. *Vizualizarea comportării uzinei hidroelectrice Porţile de Fier în sistemul energetic prin adăugarea unor ecrane calculatoarelor. Energetică şi Navigaţie.* Ministerul Energiei Electrice. I.S.P.H., 1971, p. 261—277.

[12] D i m o, P a u l, G r o z a, L., M o r a i t e, G. şi C r i s t e a, H. *Improvement in the Operational Reliability of System by Using Visualisation Panels.* CIGRE, Paris, 1970, rap. 32—13.


**(Articol intrat în redacţie la 16 mai 1972)**

# Stațiile de conexiuni și transformare de la CHE Porțile de Fier. Schema electrică și dispozițiile constructive adoptate

Ing. P. Rașcu*)

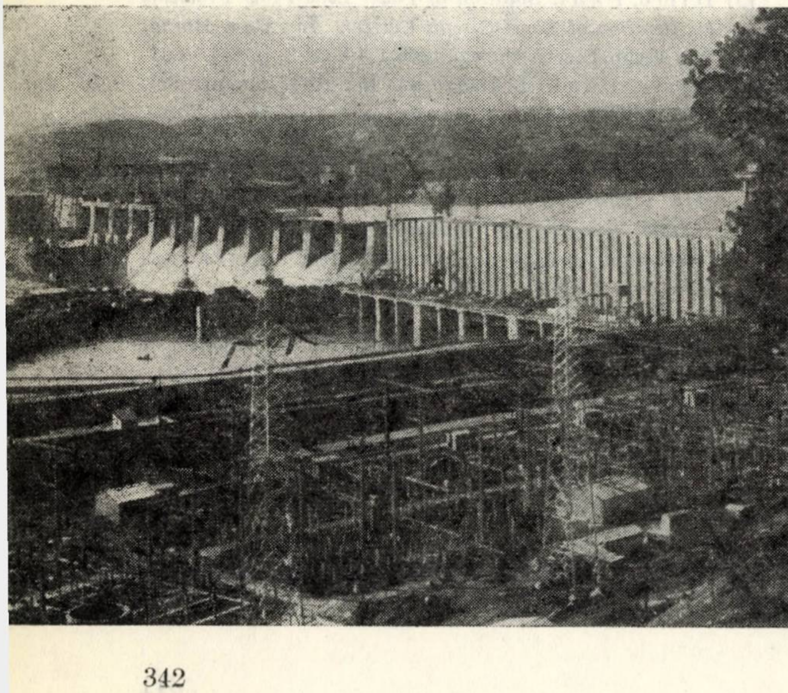
## 1. Considerații generale

### 1.1. *Schema electrică de conexiuni*

Centrala Porțile de Fier cuprinde șase grupuri generatoare, fiecare cu o putere unitară de 190 MVA, racordate bloc cu transformatoarele de 242/15,75 kV, într-o stație de conexiuni de 220 kV echipată cu bare colectoare duble și bare de transfer pentru toate circuitele. De la barele de 220 kV energia este transmisă prin linii cu dublu circuit spre zonele Reșița — Timișoara, Turnu Severin și în viitor și spre nordul Olteniei.

Ținînd seama, pe de o parte, de puterea mare a centralei Porțile de Fier, iar, pe de altă parte, de faptul că energia sa provine dintr-o sursă hidroenergetică, pentru realizarea economică a unui transport important de energie în sistemul energetic unificat al R.S.R., s-a prevăzut, pe lîngă stația de 220 kV, și construcția unei stații de 400 kV. Stația de 400 kV este echipată cu bare colectoare duble și cu bare de transfer pentru toate circuitele, energia fiind transmisă prin linii spre Rovinari, București, Slatina și alte centre consumatoare. Din aceeași stație de conexiuni este prevăzută să se realizeze și interconexiunea între sistemele energetice ale R.S.R. și ale R.S.F.I. Această legătură este destinată să contribuie la compensarea energiei produse în cele două centrale electrice, să asigure posibilitatea unui ajutor reciproc între sistemele energetice ale celor două țări și să mărească stabilitatea statică și dinamică a rețelelor interconectate.

*) Paul Rașcu este consilier la I.S.P.E. și șeful de proiect complex al lucrării.



Legătura dintre stații se realizează prin două autotransformatoare 400/231/22 kV, cu puterea trifazată de 400 MVA, la tensiunea de 22 kV fiind realizată o stație de conexiuni cu bare colectoare simple, secționate în lung, fiecare secție racordată bloc la cîte un autotransformator și la cîte un transformator de 6,3 MVA, 22/6 kV.

La oricare dintre secțiile de bare colectoare de 22 kV se pot cupla două (în viitor încă două) bobine cu o putere unitară trifazată de cîte 50 MVA pentru compensarea energiei capacitive produse de liniile de 400 kV.

Separat de stațiile de conexiuni ale centralei, la Porțile de Fier s-a mai creat o injecție dintr-o linie de 110 kV din zonă, racordată bloc cu un transformator de 10 MVA, 110/6 kV, la o stație de conexiuni de 6 kV, echipată cu bare colectoare duble, destinată alimentării cu energie electrică a consumatorilor din imediata vecinătate a centralei și a serviciilor proprii ale stației și ale centralei electrice.

Ținînd seama de numărul diferit de celule în cele două stații principale de conexiuni ale centralei de la Porțile de Fier, s-a echipat stația de 220 kV cu două celule separate de cuplă transversală și de transfer, în timp ce, din aceleași motive, stația de 400 kV a fost echipată numai cu o singură celulă de cuplă combinată, transversală și de transfer.

În stațiile de 220 și de 400 kV, transformatoarele de intensitate sînt situate înaintea derivației către barele de transfer, protecția prin relee a circuitului respectiv păstrîndu-se și în cazul funcționării lui prin cupla de transfer, printr-o selectare automată efectuată în circuitele secundare. Această soluție a fost justificată de numărul mare al circuitelor de 220 și de 400 kV, care sînt prevăzute să se echipeze cu protecții diferențiale proprii (autotransformatoare și blocuri generator-transformator), precum și de raportul de transformare deosebit la transformatoarele de intensitate ale diverselor circuite.

Adoptarea acestei soluții a permis reducerea suprafeței de teren ocupate de stațiile de conexiuni și o economie importantă în echiparea circuitelor secundare ale cuplei de transfer, care a fost dotată, din aceste motive, numai cu o simplă protecție maximală de curent pentru încercarea barelor.

Pe toate circuitele din stațiile de 220 și de 400 kV, linii, blocuri generator-transformator și

*Tabelul 1*

**Tipul și firma furnizoare a echipamentelor principale de înaltă tensiune**

| Stația de conexiuni | Separator | | Întreruptor | | Transformator intensitate | | Transformator tensiune inductiv | | Divizor capacitiv de tensiune | | Descărcător cu rezistență variabilă | | Bobină de blocaj | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tip | Fabricație | Tip | Fabricație | Tip | Fabricație | Tip | Fabricație | Tip | Fabricație | Tip | Fabricație | Tip | Fabricație |
| 400 kV | DR–400 E +BE–I–3 M cu și fără cuțit p.p. | Merlin Gerin–Franța | HPF–5169/ 8E+FKF–103 (cu resort) și IO–400+ MOP–1 | Sprecher Schuh–Austria UEPC–R.S.R. | IMBF–420A4 și $CESU_k$–420 | ASEA–Suedia UEPC–R.S.R.– | – | – | CVE–420 TECU–420 | Haefely-Elveția UEPC–R.S.R. | XAL–360 XAE–360 | ASEA–Suedia | RZ–2000–1,2 | Mosco-va–U.R.S.S. |
| 220 kV | $SMEP(P)_m$+ ASE | UEPC–R.S.R.– | IO–220+ MOP–1= | UEPC R.S.R. | $CESU_k$–220 | UEPC–R.S.R. | – | – | TECU–220 | UEPC–R.S.R. | XAD–199 | ASEA Suedia | VDi 520/ 44 F | SSW–R.F.G. |
| 110 kV | $STE(P)_m$+ ASE | UEPC–R.S.R. | IO–110+ MOP–1 | UEPC R.S.R. | CESU–$110_b$ | UEPC–R.S.R.– | TEMU–110 | UEPC–R.S.R. | – | – | XAD–104 | ASEA–Suedia | – | – |
| 22 kV | STI(Pi)20+ Cottbus (cu aer comprimat) | UEPC–R.S.R.–KL–R.D.G. | HG–6/12+ BNR 3 LM (cu resort) | DELLE–Franța | CIRS–20 $CIRT_0$-20 | UEPC–R.S.R. | TIRM–20 | UEPC–R.S.R. | – | – | ASH–25 | AEG–R.F.G. | – | – |
| 6 kV | STI–10 400–2000 A+AMI | UEPC–R.S.R. | IO–10–400A 150 MVA+MR –2,IO–15–1250 A 250MVA+ MR–3 | UEPC–R.S.R. | CIRS–10 t $CIRT_{0s}$–10 | UEPC–R.S.R.– | TIRM–6 | UEPC–R.S.R. | – | – | – | – | – | – |

autotransformatoare, s-a prevăzut montarea a cîte trei divizoare capacitive de tensiune, eliminînd astfel complet celulele de măsură a tensiunii de pe barele colectoare.

În condițiile menționate bucla circuitelor secundare de tensiune a barelor colectoare are o sarcină relativ mică și se alimentează automat de la divizoarele capacitive ale cîte unei singure celule din întreaga stație.

Pentru protecția împotriva supratensiunilor s-au folosit descărcătoare cu rezistență variabilă cu suflaj magnetic, montate numai în celulele blocurilor generator-transformator (care au racord la tensiunea de 220 kV în cablu) și la toate bornele autotransformatoarelor.

## 1.2. *Echipamentul electric principal*

Pe ansamblul stațiilor, echipamentele electrice primare sînt fabricate în cea mai mare parte în R.S.R.

Tipurile și furnizorii diverselor echipamente electrice primare sînt menționați în tabelul 1.

Toate întreruptoarele folosite sînt de tipul cu ulei puțin, stațiile de conexiuni fiind dimensionate pentru următoarele puteri de rupere:

— stația de 400 kV, 20 000 MVA
— stația de 220 kV, 12 000 MVA
— stația de 22 kV, 1 500 MVA
— stația de 6 kV, 150 MVA

Separatoarele din stațiile de conexiuni exterioare sînt de tipul cu două coloane rotative de izolatoare și cu două cuțite principale cu deschiderea lor în plan orizontal, acționate de dispozitive cu motor electric.

Transformatoarele de intensitate de tip inductiv, izolate cu ulei, au la tensiunile de 400 și de 220 kV cîte patru înfășurări secundare pentru 1 A, iar la tensiunea de 110 kV, cîte trei înfășurări secundare pentru 5 A.

Divizoarele capacitive de tensiune, izolate cu ulei, au la tensiunile de 400 și de 220 kV cîte două înfășurări secundare care asigură o înaltă fidelitate a măsurătorilor, în special la fenomenele tranzitorii. La tensiunile de 110, de 22 și de 6 kV se utilizează transformatoare inductive.

Caracteristicile de bază și furnizorii unităților de transformare și ai bobinelor de compensare sînt incluse în tabelul 2.

## 1.3. *Planul general al lucrărilor*

Ca urmare a unor condiții geografice unice în Europa, amenajarea hidroenergetică de la Porțile de Fier prezintă atît specificul lucrărilor fluviale, cît și al lucrărilor din regiunile de munte, datorită traversării munților Carpați de către fluviul Dunărea, cu un debit de apă important.

Odată cu dispoziția centralei a fost rezolvată și amplasarea transformatoarelor de bloc direct pe corpul barajului. Datorită marelui număr de circuite, stațiile de conexiuni au fost însă amplasate pe malul Dunării, în apropierea cen-

*Tabelul 2*

**Caracteristicile principale ale unităților de transformare și ale bobinelor de compensare**

| Denumirea | Unitate de măsură | Transformator-bloc | Autotransformator | Bobină de compensare | Transformator S. Pr. ge. | Transformator S. Pr. princip. | Transformator S. Pr. stație |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tipul aparatului | — | TTU FA 190/242 | AODTȚU–133/400+ VRTDNU – 405000/35/22 | RODT–20000/25 | TTUS–NS 10/110 | TMN–6300/22 | TTU NL 630/6 |
| Executantul | — | UEPC–R.S.R. | Zaporojie-U.R.S.S. | Moscova-U.R.S.S. | UEPC–R.S.R. | URAL–U.R.S.S. | UEPC–R.S.R. |
| Puterea nominală trifazată | MVA | 190 | 3 × 133 | 3 × 17 | 10 | 6,3 | 0,630 |
| Raportul de transformare nominal | kV | 242/15,75 | 400/231/22 | 22 | 110/6,6 | 22/6,6 | 6/0,4 |
| Domeniul de reglare a tensiunii | | | | | | | |
| — fără sarcină | % | ± 5 | — | — | — | — | ±5 |
| — sub sarcină | % | — | ± 7,5 | — | +9×1,78+ +6×1,5 | — | — |
| — locul reglajului | înfășurări | 242 | pe neutru | — | 110 | 22 | 6 |
| Grupa de conexiuni | — | Y d–5 | Yyd–12–11 | Y | Yod–11 | Y d–11 | Y–5 |
| Numărul unităților | buc. | 6 | 7 | 6 | 1 | 2 | 2 |
| Observații | — | Montat pe baraj | Unități monofazate cu o unitate de rezervă în stație | Unități monofazate cu o unitate de rezervă în sistem | Montat lîngă stația de 6 kV | Montat lîngă stația de 22 kV | Montat în clădire |

tralei, soluțiile constructive adoptate trebuind să satisfacă în această situație o serie de condiții impuse atît de natura și de forma terenului în zonă, cît și de amenajarea complexă a obiectivului în ansamblul său.

O caracteristică principală a terenului disponibil pentru realizarea stațiilor de conexiuni a constituit-o lățimea sa foarte mică, cuprinsă între malul apei și versantul muntos, care prezintă în general înclinări de circa 30° și pe alocuri chiar ruperi de pantă.

Lățimea terenului a mai fost redusă și prin prevederea între centrală și mal a celor două trepte ale ecluzei și a porturilor de așteptare respective, avînd lățimea aproape dublă față de aceea a ecluzelor. Pe lîngă acestea, în terenul rezervat stațiilor de conexiuni au trebuit construite, de-a lungul laturilor paralele cu cursul Dunării, drumuri de circulație în zonă, independente de necesitățile de exploatare ale stațiilor de conexiuni, fapt care a contribuit, de asemenea, la reducerea lățimii acestuia. Astfel, pe latura dinspre nord a stațiilor de conexiuni s-au lăsat spații pentru realizarea șoselei modernizate și a căii ferate, ce fac legătura pe valea rîului Cerna cu restul țării. Pentru a ocupa spații cît mai reduse, ambele căi de circulație au fost împinse spre versantul muntelui, ceea ce a necesitat numeroase lucrări de artă, poduri, viaducte și tuneluri. Din drumul ce urmărește paralel cursului Dunării este, de asemenea, prevăzut racordul rutier pe coronamentul barajului spre R.S.F.I., precum și deservirea administrației centralei și a birourilor de vamă etc., care au necesitat, de asemenea, spații de dezvoltare. În același timp, pe latura dinspre sud a amplasamentului stațiilor de conexiuni s-a prevăzut realizarea unei șosele și a unei căi ferate în lungul ecluzei, atît pentru asigurarea unor servicii ale instalațiilor portuare, cît și pentru accesul în centrală la nivelul sălii mașinilor.

În ceea ce privește realizarea stațiilor de conexiuni într-o zonă cît mai apropiată de centrală, s-a constatat că nu există posibilitatea amplasării acestora în amonte de baraj, unde fîșia de teren dintre fluviu și munte se îngustează.

Amplasarea stațiilor de conexiuni pe malul Dunării în aval de centrală a fost determinată deci de condițiile geografice din zonă și de complexitatea amenajării obiectivului. În această situație suprafața de teren disponibilă pentru realizarea stațiilor de conexiuni avea formă trapezoidală, cu mărimea laturilor paralele de circa 90 și circa 130 m.

Ca o complicație suplimentară la condițiile impuse amplasării stațiilor de conexiuni, terenul respectiv este traversat la aproape o jumătate din lungimea sa de un afluent al Dunării, pîrîul Sf. Petru. Avînd un caracter torențial, acest pîrîu nu permitea acoperirea sa cu un

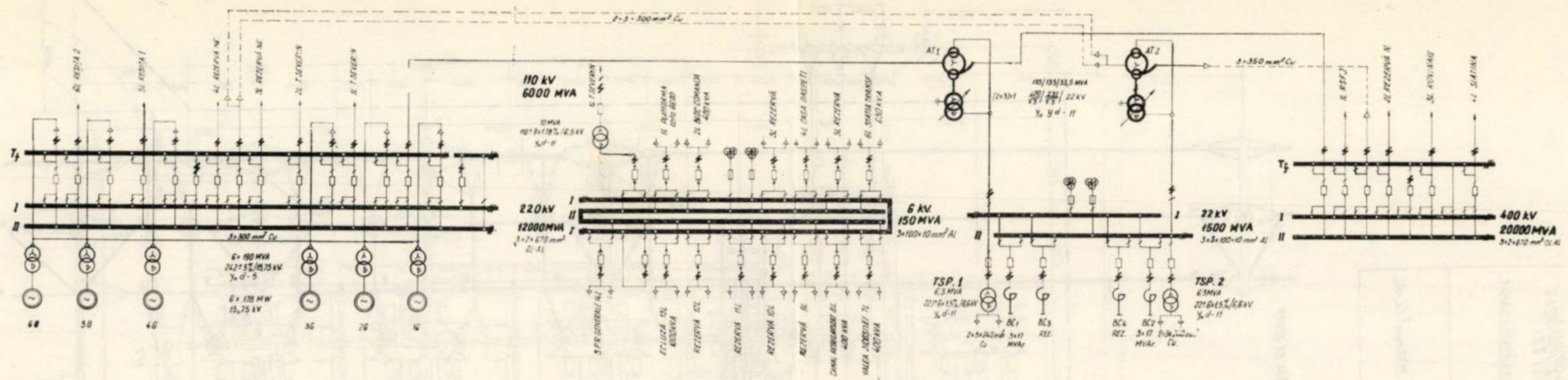



Fig. 1. Schema electrică monofilară de principiu.

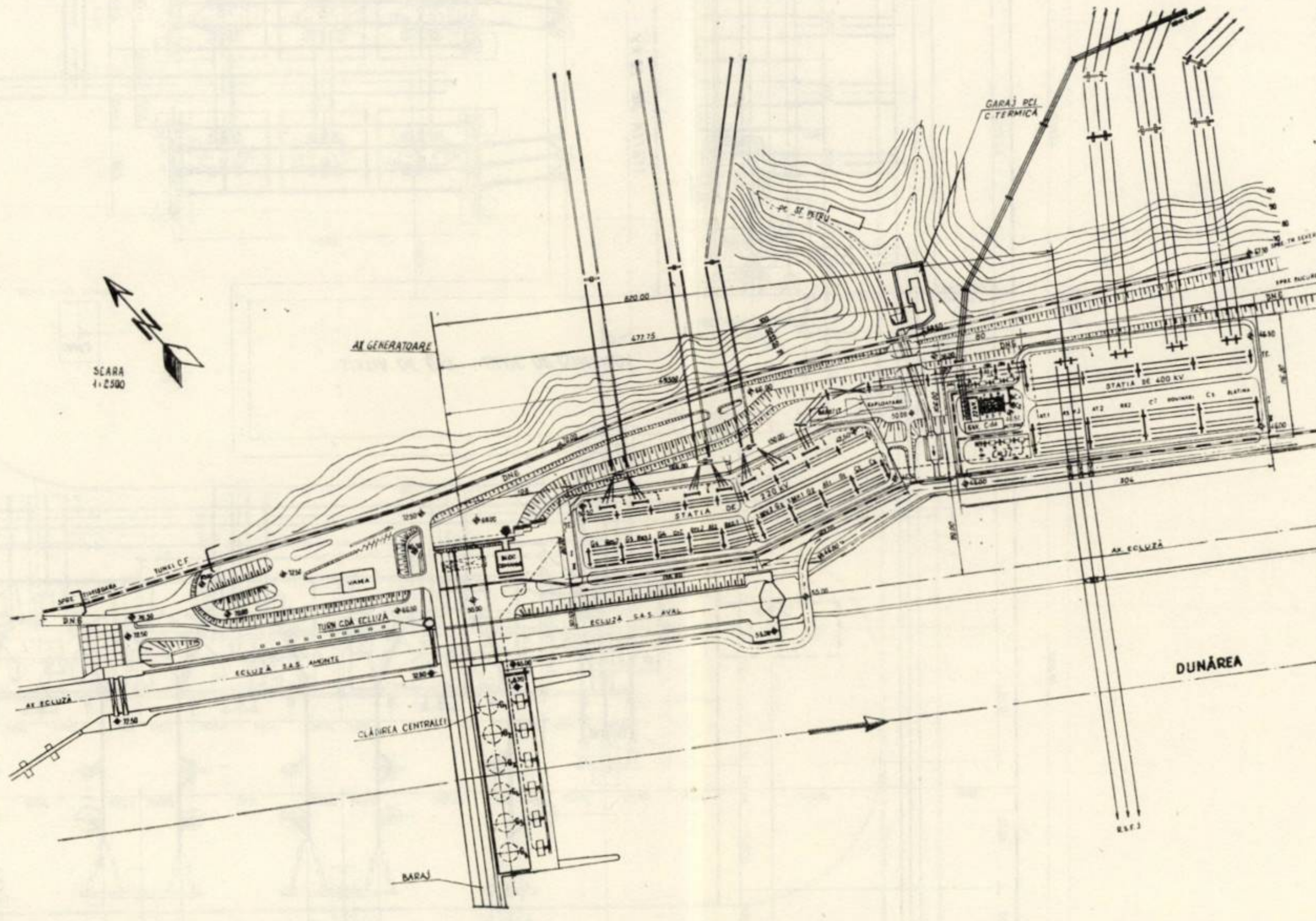



Fig. 2. Vedere în plan a stațiilor de conexiuni.

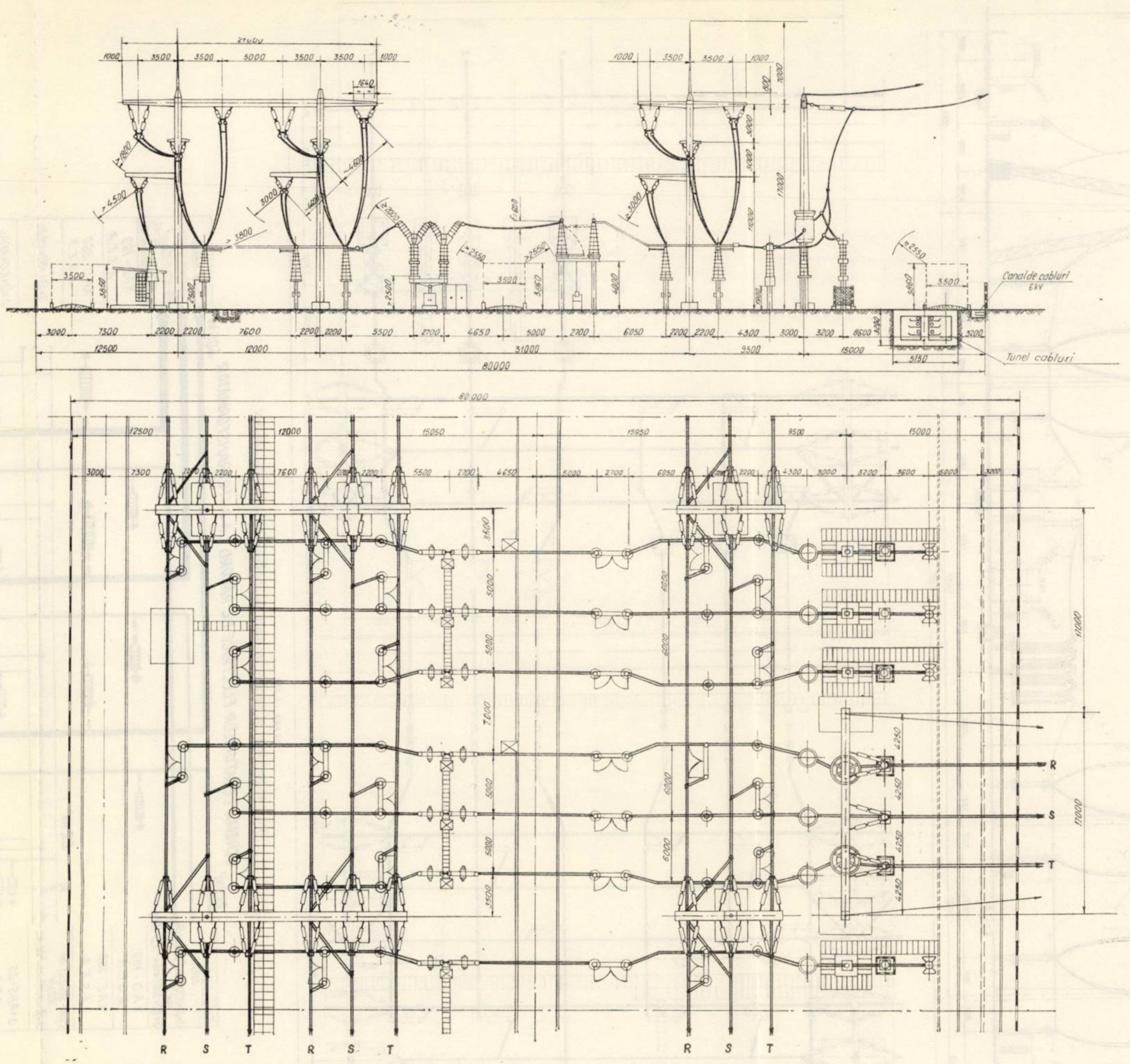



Fig. 3. Secțiune și vedere în plan (parțială) prin stația de 220 kV.

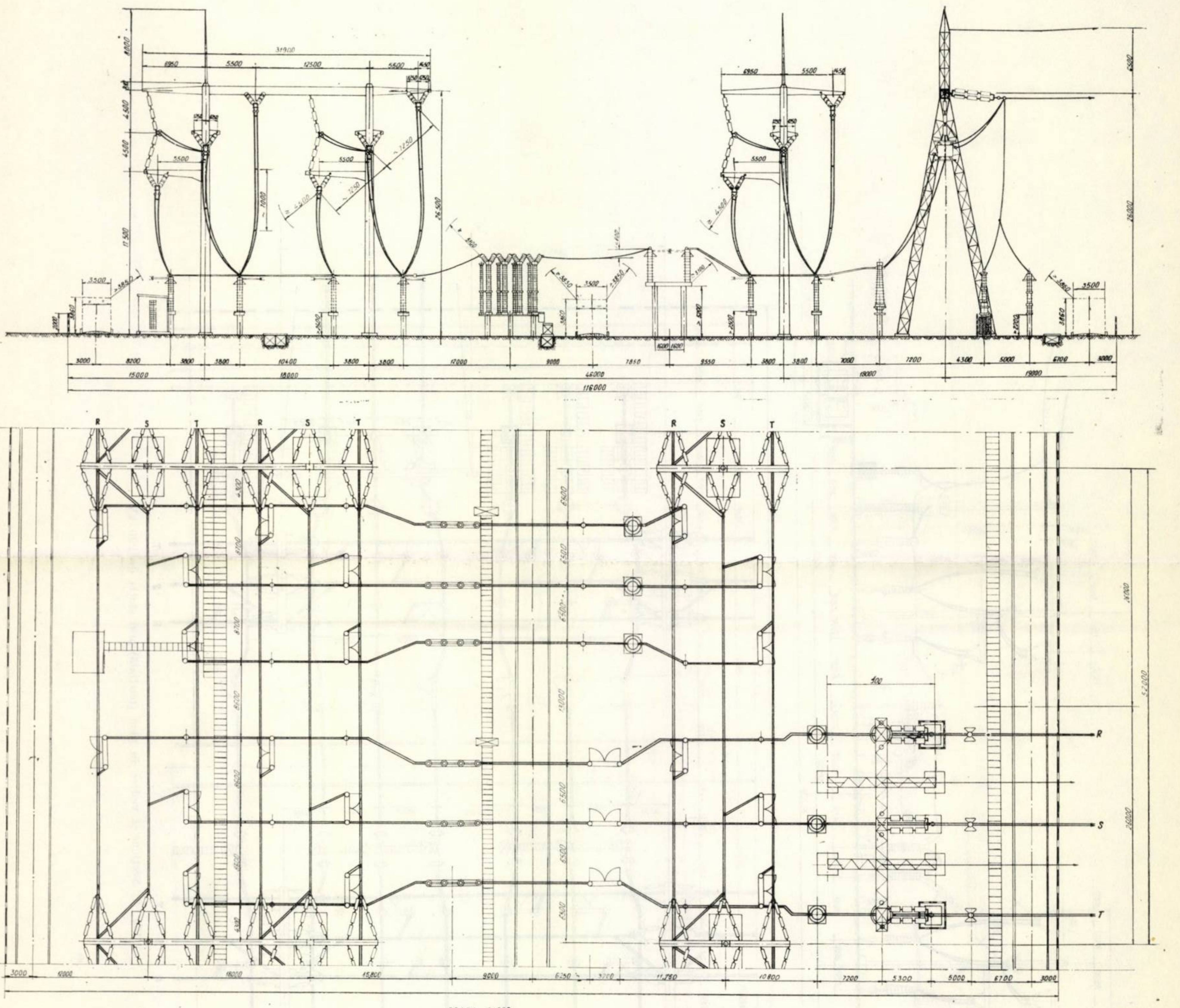



Fig. 4. Secţiune şi vedere în plan (parţială) prin staţia de 400 kV.

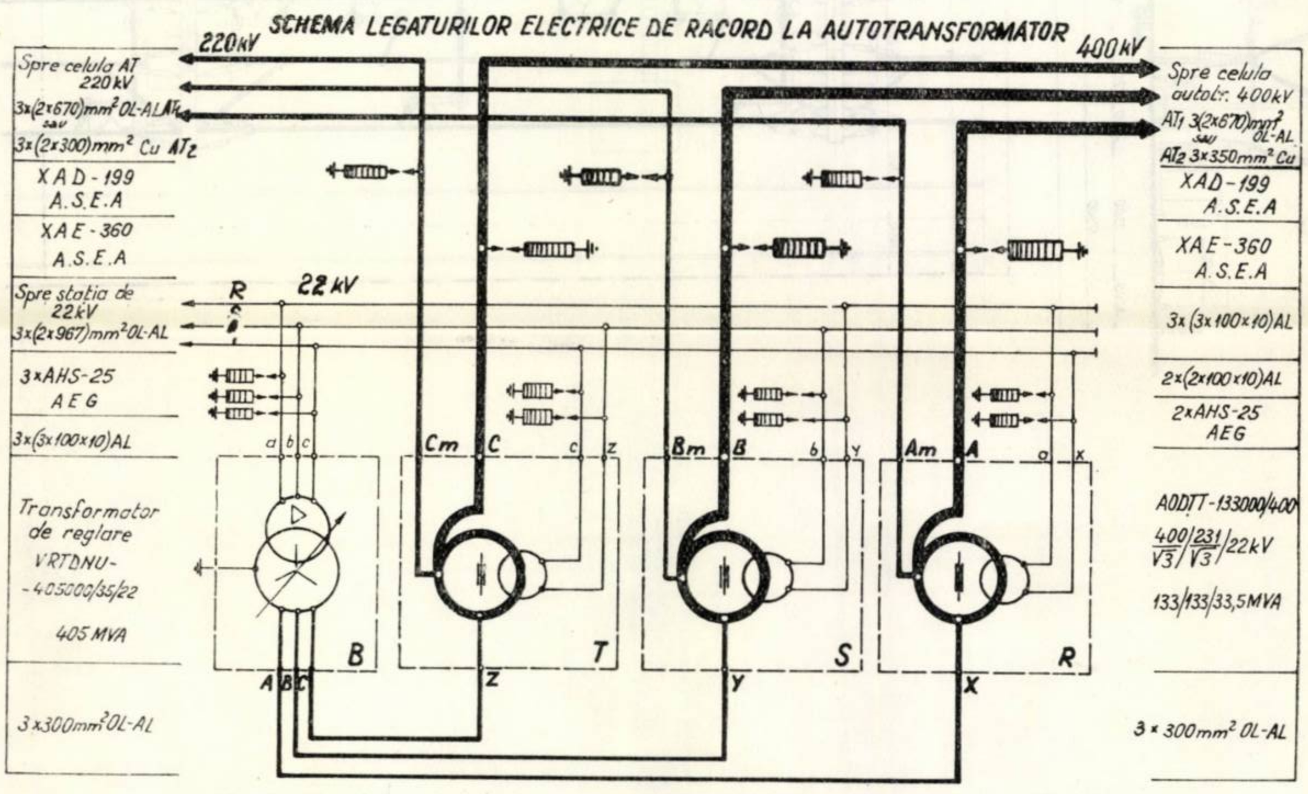



Fig. 5. Schema legăturilor electrice de racord a autotransformatorului de 400/231/22 kV.

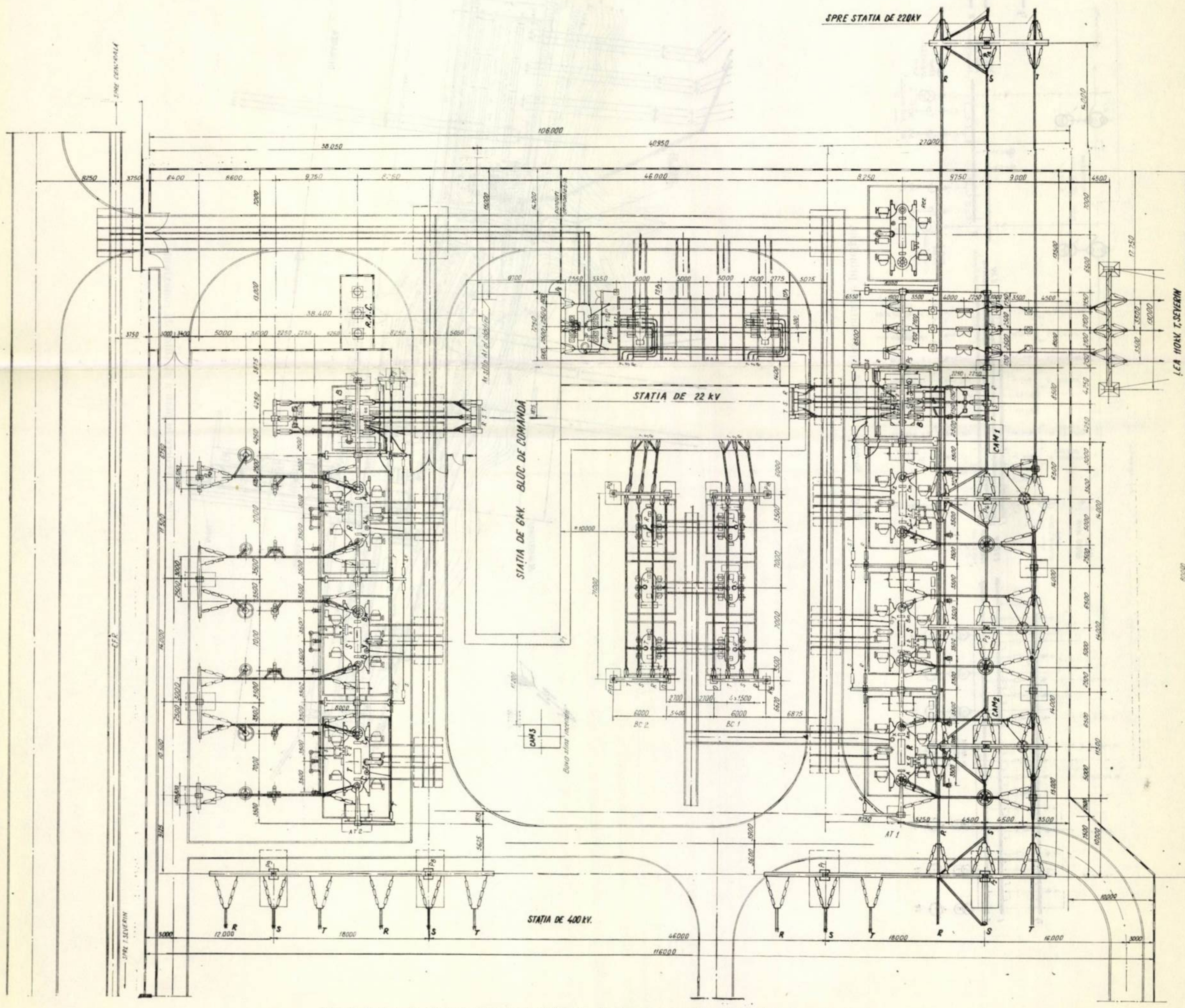



Fig. 6. Vedere în plan a montajului unităţilor de transformare şi a bobinelor de compensare

planşeu de beton; de aceea s-a adoptat regularizarea printr-un canal deschis, prevăzut cu distrugătoare de energie şi cu lucrări de decantare a suspensiilor, ceea ce impune obligativitatea curăţirii periodice a aluviunilor depuse.

Ţinînd seama de particularităţile amplasamentului, staţia de 220 kV a fost realizată în amonte de pîrîul Sf. Petru, asigurînd astfel legături cît mai scurte cu grupurile generator-transformator-bloc de pe baraj. Staţia de 400 kV s-a executat în aval de pîrîul St. Petru, ieşirile liniilor electrice respective fiind orientate în special spre nord. Între staţiile de conexiuni de 220 şi de 400 kV s-au amplasat unităţile de transformare, bobinele de compensare, clădirea staţiilor de transformare de 22 şi de 6 kV, precum şi cea a instalaţiilor de comandă şi auxiliare exploatării.

## 2. Dispoziţia constructivă a instalaţiilor electrice

### 2.1. *Staţiile de conexiuni de 400 şi de 220 kV*

Staţia de 400 kV ocupă o suprafaţă de teren regulată, de formă dreptunghiulară, în timp ce staţia de 220 kV ocupă un teren cu o suprafaţă alcătuită din îmbinarea a două dreptunghiuri, ale căror laturi formează între ele unghiuri de 17°. Adoptarea unei incinte frînte pentru staţia de 220 kV, soluţie întîlnită în tehnica de specialitate, a corespuns mai bine terenului, lăsînd loc pentru portul de aşteptare al vaselor la trecerea prin ecluză.

Staţiile de 400 şi de 220 kV sînt de tipul semiînalt, avînd toate echipamentele electrice montate pe suporturi de beton armat centrifugat, ceea ce permite o mare economie de metal şi o întreţinere uşoară, oferind un aspect plăcut instalaţiilor.

În scopul reducerii lăţimii ambelor staţii de conexiuni şi ţinîndu-se seama de faptul că, cu excepţia liniei R.S.F.I., toate celelalte linii au aceleaşi direcţii de ieşire din staţie, s-a adoptat dispoziţia tuturor întreruptoarelor pe un singur şir. Totodată, pentru a evita traversările aeriene peste ecluză şi portul de aşteptare, toate agregatele generator-transformator-bloc s-au racordat în cabluri subterane în staţia de 220 kV, permiţînd astfel evitarea tuturor încrucişărilor între circuitele de 220 kV.

Montarea separatoarelor în celulele staţiilor de 400 şi de 220 kV s-a făcut urmărind ca terenul ocupat să aibă dimensiunea transversală minimă. În acest scop, separatoarele au fost dispuse sub barele colectoare, cu planul coloanelor de izolatoare paralel cu barele colectoare şi, pentru a nu mări pasul celulei, acestea au fost dispuse pe două şiruri.

Pentru a reduce la maximum suprafaţa de teren ocupată de barele colectoare şi de transfer, acestea au fost dispuse în plan înclinat. Dispoziţia a constat în întinderea conductoarelor barelor colectoare la niveluri deosebite de la sol, în aşa fel încît, majorînd distanţa reală dintre faze faţă de construcţiile uzuale, în proiecţie orizontală, distanţa dintre faze să fie redusă la o valoare minimă. Reducerea se bazează pe faptul că în poziţia de cea mai mare apropiere a două conductoare ale unor faze deosebite, acestea trec în direcţii perpendiculare între ele; în schimb, ca urmare a creşterii distanţelor dintre conductoarele electrice, s-a mărit corespunzător şi siguranţa în funcţionare a instalaţiei.

Dispoziţia barelor colectoare în plan înclinat a permis totodată simplificarea şi reducerea la maximum a construcţiilor de întindere a barelor colectoare, ceea ce a micşorat costul instalaţiilor în ansamblu. Pentru întinderea conductoarelor de bare s-a utilizat astfel cîte un singur stîlp prevăzut cu două console montate în direcţii opuse, la niveluri deosebite. Conductoarele fazelor extreme s-au întins între capetele unor astfel de console pe care le subtraversează pentru legătura cu panoul de bare vecin. Conductorul fazei mediane s-a întins chiar între stîlpii de bare, pentru trecerea în panoul învecinat, ocolind stîlpul prin utilizarea unui lanţ de izolatoare fixat la capătul unei console montate pe stîlp la înălţimea consolei fazei superioare a barelor, dar în partea opusă ei.

Pentru întinderea conductoarelor celor două sisteme de bare colectoare principale, s-a adoptat combinaţia dintre doi stîlpi de întindere simpli, obţinînd cadre cu profil în Π.

Întrucît utilizarea soluţiei cu barele în plan înclinat a condus la realizarea unor cadre cu înălţimi relativ mari, pentru a evita supratraversarea conductoarelor, circuitele de cuplă transversală şi combinată au fost realizate în cîte două celule. În staţia de 220 kV, echipată cu celule separate de cuplă de transfer şi transversală, ultima s-a dispus la unul dintre capetele staţiei, utilizînd pentru legătura dintre celulele componente conductoare întinse în poziţia barei de transfer din restul staţiei de 220 kV, micşorîndu-se în acest fel suprafaţa de teren ocupată.

Terenul disponibil a permis, deşi în condiţii dificile, ca pe frontul de ieşire al liniilor de 220 kV să se monteze stîlpii terminali cu dublu circuit ai acestora, chiar lîngă împrejmuirea staţiei. Soluţia aceasta nu s-a putut aplica şi la staţia de 400 kV, unde stîlpii terminali ai liniilor au fost introduşi în incinta staţiei de conexiuni, ceea ce a impus realizarea unor construcţii robuste de stîlpi, cunoscînd atît mărimea primei deschideri a liniilor, denivelarea mare dintre stîlpii acestor deschideri, cît şi faptul că ele supratraversează o şosea şi o cale ferată electrificată de mare trafic. Ca urmare stîlpii de plecare în liniile de 400 kV au fost realizaţi din construcţii metalice spaţiale, executate din grinzi cu zăbrele avînd o poză în Π, picioarele stîlpilor fiind în formă de

A, pentru a mări momentul rezistent la baza lor.

O soluţie aparte a fost adoptată pentru racordul în linia de 400 kV de interconexiunea cu R.S.F.I., singura plecare din staţiile de conexiuni îndreptată spre sud. Pentru a evita un traseu lung de ocolire şi încrucişări numeroase cu liniile electrice de legătură cu sistemul energetic, s-a realizat prin excepţie supratraversarea întregii staţii de 400 kV, luîndu-se măsuri sporite de siguranţă pentru preîntîmpinarea unor ruperi de conductoare electrice. Astfel cadrul de ieşire în linie din celula R.S.F.I., avînd aceeaşi poză ca toate celelalte cadre terminale din staţie, a fost supraînălţat (înălţimea de la sol a suspensiei pînzei conductoarelor de 45 m), în prima deschidere traversîndu-se întreaga staţie de 400 kV, în deschiderea următoare portul de aşteptare din aval (cu un stîlp realizat în peretele portului) şi apoi traversînd în două deschideri Dunărea, prin utilizarea a încă unui stîlp intermediar într-un mic ostrov.

2.2 *Staţiile de conexiuni de 110, 22 şi 6 kV*

Staţia de 110 kV reprezintă o injecţie dintr-o linie locală de 110 kV, care pătrunde sub forma unui racord adînc pînă la un transformator de 10 MVA, ce alimentează staţia interioară de 6 kV realizată cu celule metalice prefabricate.

Staţia de 22 kV, de tip interior, este realizată cu pereţi separatori la celule executaţi din beton armat, datorită valorilor mari ale scurtcircuitelor, ca urmare a alimentării acestor bare de la înfăşurările terţiare ale autotransformatoarelor de 400/231/22 kV, 3 × 133 MVA.

2.3. *Unităţile de transformare şi bobinele de compensare*

Toate unităţile de transformare şi bobinele de compensare au fost montate grupat într-o incintă de dimensiuni restrînse în jurul clădirii principale a staţiei, pentru a permite o exploatare comodă şi cît mai multe racorduri aeriene la staţiile de conexiuni.

Unităţile monofazate de autotransformator şi busterele de reglare respective au fost montate pe două şiruri paralele, pentru a reduce cît mai mult lăţimea platformei de montaj. Deşi lungimea legăturilor electrice de 220 kV între aceste unităţi este majorată în această dispoziţie, distanţele dintre faze sînt mult mai mari decît valorile normate, ceea ce asigură o creştere a siguranţei în funcţionare.

Unitatea de autotransformator de rezervă este situată lateral, putînd înlocui oricare dintre fazele de autotransformator ce s-ar defecta, printr-o serie de deplasări pe căile de rulare prevăzute în acest scop. Soluţia de punere sub tensiune a fazei de autotransformator de rezervă fără deplasare, numai prin conexiunea unor circuite electrice, nu a fost adoptată, fiind considerată nesigură şi neeconomică.

Dispoziţia în şir a unităţilor de autotransformatoare a permis o racordare deosebit de avantajoasă a acestora fază cu fază, la tensiunile de 400 şi de 220 kV, ocupînd o suprafaţă de teren minimă.

Primele două bobine de compensare la tensiunea de 22 kV au fost procurate în construcţie monofazată; din acest motiv ele au fost amplasate în două şiruri paralele, la distanţele cerute de normative faţă de clădirea staţiei.

Transformatoarele de servicii proprii generale de 6,3 MVA au fost amplasate în aer liber, în boxe alăturate clădirii staţiei de 22 kV, iar transformatoarele de servicii proprii ale staţiei, de cîte 630 kVA, au fost amplasate în interior, în boxe special amenajate.

(Articol intrat în redacţie la 24 februarie 1972)

# Unele consideraţii asupra modalităţilor de determinare a indicatorilor de siguranţă ai schemelor de alimentare cu energie electrică

Ing. M. Stein
şi matem. A. Vîlcereanu*)

După cum se ştie, legiferări recente impun ca încă din timpul proiectării să se determine unii indicatori de siguranţă în funcţionarea instalaţiilor, indicatori care să servească apoi la stabilirea unor condiţii contractuale între furnizor şi beneficiarul produselor. Aceleaşi legiferări obligă uzinele furnizoare de echipamente să garanteze parametrii de siguranţă pentru produsele fabricate (decret 304 din 1971). Deoarece însă poate să apară necesitatea de a stabili indicatori de siguranţă pentru instalaţii de alimentare cu energie încă înainte de a se cunoaşte parametrii de fiabilitate ai produselor ce intră în componenţa lor, iar pe de altă parte indicatorii de siguranţă ce se evaluează prin calcul pentru o instalaţie reprezintă valori medii pentru o perioadă îndelungată de timp, se pune problema stabilirii indicatorilor care pot fi evaluaţi cu suficientă precizie prin calcule probabilistice, pentru a putea servi la redactarea unor clauze contractuale între furnizorul şi consumatorul de energie.

Aspectul deosebit de delicat al acestei probleme este foarte accentuat în special în instalaţiile de alimentare cu energie electrică, deoarece, spre deosebire de multe alte mărfuri,

*) Manfred Stein este consilier la I.S.P.E. şi conducătorul Colectivului de calcul al siguranţei instalaţiei; Anca Vîlcereanu este matematician în acelaşi colectiv.

această energie nu poate fi stocată în condiţii economice, orice întrerupere putîndu-se reflecta deci mai mult sau mai puţin grav asupra producţiei consumatorului.

Daunele provocate de întreruperea furnizării de energie la consumator pot fi clasificate în două mari categorii :

*a*) daune proporţionale cu durata totală a întreruperilor în alimentare într-o perioadă de timp dată (de exemplu 1 an) ;

*b*) daune proporţionale cu numărul de întreruperi care au o durată mai mare decît $t$ ($t$ fiind în general de ordinul secundelor sau al minutelor).

Oricare ar fi complexitatea schemelor de alimentare, sistemul energetic nu poate influenţa considerabil daunele din categoria *b*. De aceea împotriva efectelor unor asemenea întreruperi (de scurtă durată) consumatorul trebuie să ia măsuri locale, fie prin prevederea unor surse proprii corespunzătoare, fie prin măsuri în schema tehnologică.

În consecinţă se poate afirma că modul de alimentare din sistemul energetic a unui consumator poate fi caracterizat în primul rînd prin felul în care se reflectă siguranţa schemei asupra daunelor de tipul *a*, adică prin durata totală a întreruperilor într-un interval de timp dat.

Indicatorii de siguranţă ce caracterizează o instalaţie sub aspectul duratei totale a întreruperilor într-un interval de timp dat sînt :

— probabilitatea de succes a instalaţiei ($p$) ;

— probabilitatea de insucces ($q = 1 - p$).

Înmulţiţi cu timpul de observaţie (de exemplu 1 an = 8 760 ore) aceşti indicatori vor da respectiv :

— durata totală medie de funcţionare în timpul $T$ considerat : $T_f = T \times p$ ;

— durata totală medie de nefuncţionare în intervalul de timp $T$ considerat : $T_d = T \times q$, deci tocmai valorile care interesează la aprecierea daunelor de tipul *a*.

Se pune deci problema dacă în situaţia de fapt aceşti indicatori pot fi determinaţi cu suficientă precizie pentru a servi eventual şi la preluarea unor angajamente contractuale între furnizorul şi consumatorul de energie*).

**1. Erorile care se produc la determinarea indicatorilor p şi q**

Înainte de a trece la fondul problemei sînt necesare unele precizări asupra premiselor de la care s-a pornit, şi anume :

*a*) valorile pentru parametrii de siguranţă utilizaţi în calculul indicatorilor $p$ şi $q$ pot fi stabilite cu abateri considerabile faţă de valoarea estimaţiei corecte, din lipsa unor date statistice corespunzătoare ;

*b*) nu se consideră ca influenţînd rezultatele calculului posibilităţile apariţiei de defecte simultante triple ;

*c*) orice schemă de alimentare cu energie electrică poate fi redusă la o schemă simplă, formată din elemente legate în serie sau în paralel.

În calcule s-a folosit noţiunea de „factor de avariere", $K$.

$$K_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i} \tag{1}$$

în care

$\lambda_i$ şi $\mu_i$ sînt intensităţile de avariere, respectiv de reparaţie, ale elementelor componente ale instalaţiei.

Din metodologiile de calcul elaborate în I.S.P.E. [1], respectiv din relaţiile (1), (4) şi (5) rezultă că pentru elemente în serie (fig. 1) :

$$K_s = \sum_{i=1}^{i=n} K_i \tag{2}$$

iar pentru două elemente identice în paralel (fig. 2) :

$$K_p = \frac{K^2}{1 + 2K} \tag{3}$$

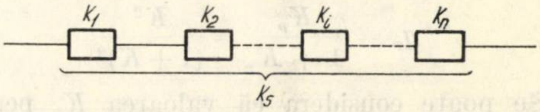



Fig. 1

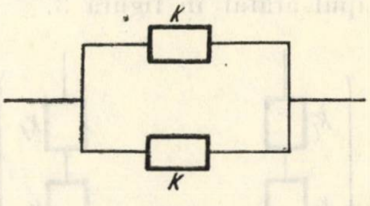



Fig. 2

Relaţiile (2) şi (3) se obţin din relaţiile (1), (4), (5), (6) şi (7) [3].

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^{i=n} \lambda_i \tag{4}$$

$$\mu_s = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \lambda_i}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\lambda_i}{\mu_i}} \tag{5}$$

$$\lambda_p = \frac{2\lambda^2}{2\lambda + \mu} \tag{6}$$

$$\mu_p = 2\mu$$

*) Prin calcule probabilistice de siguranţă pot fi stabiliţi şi alţi indicatori, cum sînt de exemplu : numărul mediu de întreruperi într-un interval de timp dat şi durata medie a unei întreruperi. Pentru evaluarea corectă a acestor indicatori este necesară însă existenţa unei baze informaţionale foarte bune, deoarece, aşa cum se va vedea în cele ce urmează, ei sînt afectaţi mult de valoarea datelor statistice primare. Totuşi, şi în cazul existenţei unei baze informaţionale încă incomplete, indicatorii aceştia trebuie estimaţi fie pentru a oferi informaţii suplimentare, fie pentru a servi în compunerea diferitelor variante, dar nu pot servi deocamdată la stabilirea unor clauze contractuale.

Considerînd $K_s = \frac{\lambda_s}{\mu_s}$, şi $K_p = \frac{\lambda_p}{\mu_p}$, conform relaţiei (1).

Tot conform [1], [3] rezultă că:

$$p = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \text{ şi } q = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \quad (8)$$

şi ţinînd seama de (1) se obţin relaţiile generale pentru $p$ şi $q$, exprimate în funcţie de $K$:

$$p = \frac{1}{1 + K_s}; \quad q = \frac{K}{1 + K} \quad (9)$$

Din cele de mai sus rezultă că pentru $n$ elemente în serie:

$$p_s = \frac{1}{1 + K_s} = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^{i=n} K_i} = \frac{1}{1 + nK} \quad (10)$$

$$q_s = \frac{K_s}{1 + K_s} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} K_i}{1 + \sum_{i=1}^{i=n} K_i} = \frac{nK}{1 + nK} \quad (11)$$

iar pentru două elemente în paralel

$$p_p = \frac{1}{1 + K_p} = \frac{1}{1 + K^2/1 + 2K} = \frac{1 + 2K}{(1 + K)^2} \quad (12)$$

$$q_p = \frac{K_p}{1 + K_p} = \frac{K^2}{(1 + K)^2} \quad (13)$$

Se poate considera că valoarea $K_p$ pentru un element paralel este obţinută din relaţia (2) pentru mai multe elemente în serie dacă schema este de tipul arătat în figura 3.

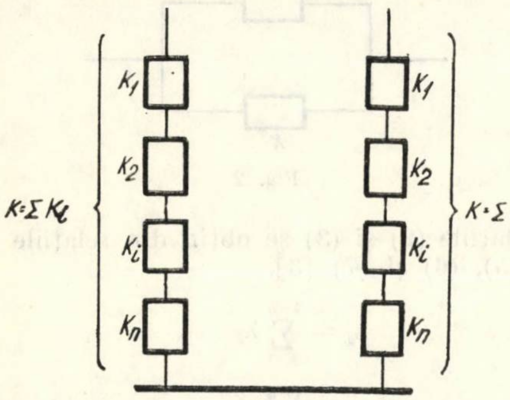


Fig. 3

Pentru a determina care este influenţa unei erori de apreciere a parametrului $K = \frac{\lambda}{\mu}$ asupra valorilor lui $q$, se consideră această eroare $\varepsilon$:

$$\varepsilon = \Delta q = q_e - q_c \quad (14)$$

în care

$q_c$ este valoarea calculată pentru $q$ cu valoarea lui $K$ apreciată cu o anumită eroare;

$q_e$ — valoarea pentru $q$ care s-ar obţine dacă s-ar cunoaşte, din datele statistice corespunzătoare, valoarea estimaţiei corecte pentru $K$.

*1.1.* Se va admite că valoarea lui $K$ de care se dispune poate fi subapreciată sau supraapreciată de $m$ ori în raport cu valoarea lui $K$ corespunzătoare estimaţiei corecte.

În acest caz, relaţia (14) se scrie pentru elemente în serie, ţinîndu-se seama şi de (11):

$$\varepsilon_s = \Delta q_s = \frac{K_s}{1 + K_s} - \frac{mK_s}{1 + mK_s} \quad (15)$$

în care

$K_s = \sum_{i=1}^{i=n} K_i$ este valoarea factorului de avariere rezultant ce s-ar fi obţinut dacă s-ar fi utilizat valori corect estimate pentru $K_i$;

$mK_s = \sum mK_i$ — valoarea factorului de avariere rezultant ce se obţine calculîndu-se cu valori individuale $mK_i$ ($m$ are semnificaţia de mai sus). Faptul că în suma de mai sus $m$ are aceeaşi valoare constituie o ipoteză acoperitoare.

Efectuîndu-se calculele în (15) se obţine pentru eroarea absolută $\varepsilon_s$ următoarea formă (pentru elementele în serie):

$$\varepsilon_s = \frac{K_s(1 - m)}{(1 + K_s)(1 + mK_s)} \quad (16)$$

Deci pentru a vedea ce influenţă are supraaprecierea sau subaprecierea de $m$ ori a valorii $K_s$ asupra calculelor ce se fac pentru probabilitatea de nefuncţionare, respectiv pentru durata medie de nefuncţionare a schemei în cazul unui montaj serie, trebuie să se studieze variaţia funcţiei $\varepsilon_s$. Pentru aceasta s-a considerat că $m$ este un parametru care variază între $\frac{1}{2}$ şi 2, iar $K_s$ este variabila în funcţie de care se discută $\varepsilon_s$.

Pentru a vedea între ce limite ia valori variabila $K_s$ s-a procedat în felul următor:

s-a considerat mai întîi o serie de zece elemente identice pentru care, în cazul schemelor electrice, $K$ ia valori mari (adică elementele componente au parametrii de siguranţă foarte slabi). Sumînd aceste valori (conform relaţiei 2) s-a obţinut pentru $K_s$ o valoare maximă:

$$(K_s)_{max} = 0{,}2$$

— pentru a obține valoarea minimă pentru $K_s$, se consideră că seria este formată dintr-un singur element cu parametrii de siguranță buni (adică, pentru care $K$ ia valori mici):

$$(K_s)_{min} = 10^{-5}$$

Rezultă că pentru orice altă combinație de elemente înseriate, raportul $K_s$ nu depășește limitele stabilite, deoarece în majoritatea cazurilor practice nu se întîlnesc înseriate într-o singură succesiune mai mult de zece elemente.

În continuare, se studiază montajul-serie, respectiv funcția $\varepsilon_s$ pentru valori ale lui $K_s$ variind între limitele stabilite mai sus.

Înainte de a face o analiză mai detaliată a funcției $\varepsilon_s$ (pentru montaj-serie) în această zonă, este necesar să se facă cîteva precizări generale asupra comportării funcției pe întregul ei domeniu de definiție, adică pe domeniul:

$$(-\infty, -1) \cup \left(-1, -\frac{1}{m}\right) \cup \left(-\frac{1}{m}, \infty\right).$$

Din figurile 4 și 5 se observă că graficul funcției $\varepsilon_s$ diferă, după cum $m$ este supraunitar sau subunitar, în sensul că, pe intervalele pe care $\varepsilon_s$ (pentru $m>1$) este monoton descrescătoare, $\varepsilon_s$ (pentru $m<1$) este monoton crescătoare și invers.

Punctele în care curba $\varepsilon_s$ nu este definită, punctele de extrem ale curbei, precum și cele de inflexiune nu se găsesc pe porțiunea din domeniul de definiție care interesează, această

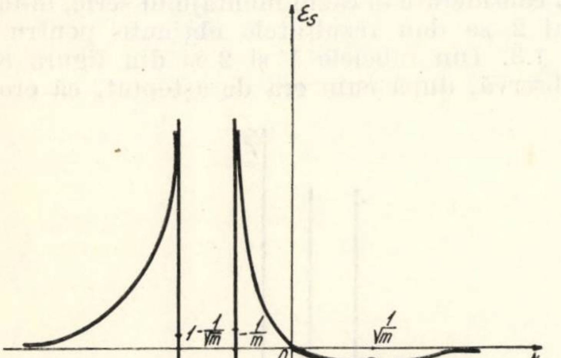


Fig. 4. Variația lui $\varepsilon_s$ pentru $m>1$.

porțiune fiind cuprinsă în întregime în intervalul $\left(0, \frac{1}{\sqrt{m}}\right)$ (vezi porțiunea îngroșată din graficele din figurile 4 și 5).

Pentru valori ale lui $m$ supraunitare, adică în cazul în care se supraapreciază valoarea $K_s$, funcția $\varepsilon_s$ în intervalul considerat este monoton descrescătoare, luînd numai valori negative. Aceasta înseamnă că, cu cît $K_s$ ia valori mai

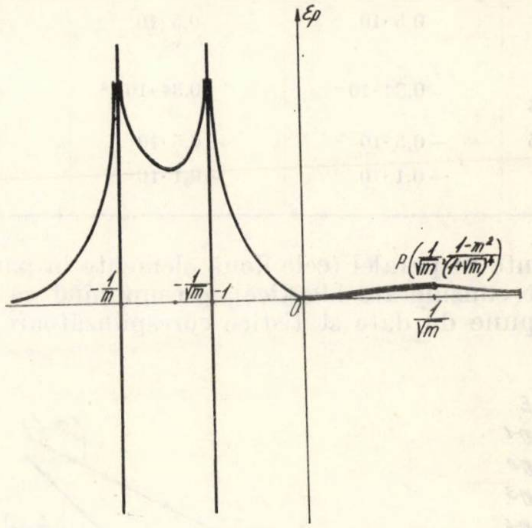


Fig. 5. Variația lui $\varepsilon_s$ pentru $m<1$.

mari, cu atît eroarea $\varepsilon_s$ este mai mare în valoare absolută.

Pentru valori ale lui $m$ subunitare, deci în cazul în care se subapreciază $K_s$, funcția $\varepsilon_s$ este monoton crescătoare pe intervalul $\left(0, \frac{1}{\sqrt{m}}\right)$ luînd pe acest interval numai valori pozitive. Deci și în acest caz se poate trage concluzia că eroarea $\varepsilon_s$ este cu atît mai mică cu cît $K_s$ este mai mic.

Admițînd că valoarea $K_s$ poate fi subapreciată de cel mult două ori față de valoarea estimației corecte care s-ar putea calcula dacă s-ar dispune de datele statistice corespunzătoare, în tabelul 1 s-au dat rezultatele obținute pentru $\varepsilon_s$ în aceste cazuri extreme, respectiv pentru $m = 2$ și $m = \frac{1}{2}$, precum și pentru alte două situații intermediare, $m = 1{,}5$ și $m = \frac{1}{1{,}5}$.

În figura 5 se dă pe scară logaritmică graficul funcției $\varepsilon_s$ numai pentru zona în care poate lua valori $K_s$ ($m$ este parametrizat așa cum s-a considerat mai sus).

*1.2.* În cazul montajului în paralel (fig. 2), înlocuind în (14) $q_e$ și $q_c$ cu expresiile lor din (13), se obține:

$$\varepsilon_p = \frac{K^2}{(1+K)^2} - \frac{m^2K^2}{(1+mK)^2} = \frac{K^2(1-m^2)}{(1+K)^2(1-mK)^2} \qquad (17)$$

unde

$K$ reprezintă valoarea estimației corecte a factorului de avariere pentru cele două ele-

*Tabelul 1*

$\varepsilon_s = f(K,m)$

| $m$ \ $K$ | $10^{-5}$ | $10^{-4}$ | $10^{-3}$ | $10^{-2}$ | 0,1 | 0,2 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\frac{1}{2}$ | $0{,}5 \cdot 10^{-5}$ | $0{,}5 \cdot 10^{-4}$ | $0{,}5 \cdot 10^{-3}$ | $0{,}49 \cdot 10^{-2}$ | $0{,}43 \cdot 10^{-1}$ | $0{,}76 \cdot 10^{-1}$ |
| $\frac{1}{1{,}5}$ | $0{,}34 \cdot 10^{-5}$ | $0{,}34 \cdot 10^{-4}$ | $0{,}34 \cdot 10^{-3}$ | $0{,}33 \cdot 10^{-2}$ | $0{,}29 \cdot 10^{-1}$ | $0{,}51 \cdot 10^{-1}$ |
| 1,5 | $-0{,}5 \cdot 10^{-5}$ | $-0{,}5 \cdot 10^{-4}$ | $-0{,}49 \cdot 10^{-3}$ | $-0{,}48 \cdot 10^{-2}$ | $-0{,}4 \cdot 10^{-1}$ | $-0{,}62 \cdot 10^{-1}$ |
| 2 | $-0{,}1 \cdot 10^{-4}$ | $-0{,}1 \cdot 10^{-3}$ | $-0{,}1 \cdot 10^{-2}$ | $-0{,}97 \cdot 10^{-2}$ | $-0{,}76 \cdot 10^{-1}$ | $-0{,}12^{-1}$ |

mente în paralel (cele două elemente în paralel sînt considerate identice), presupunînd că s-ar dispune de date statistice corespunzătoare, iar

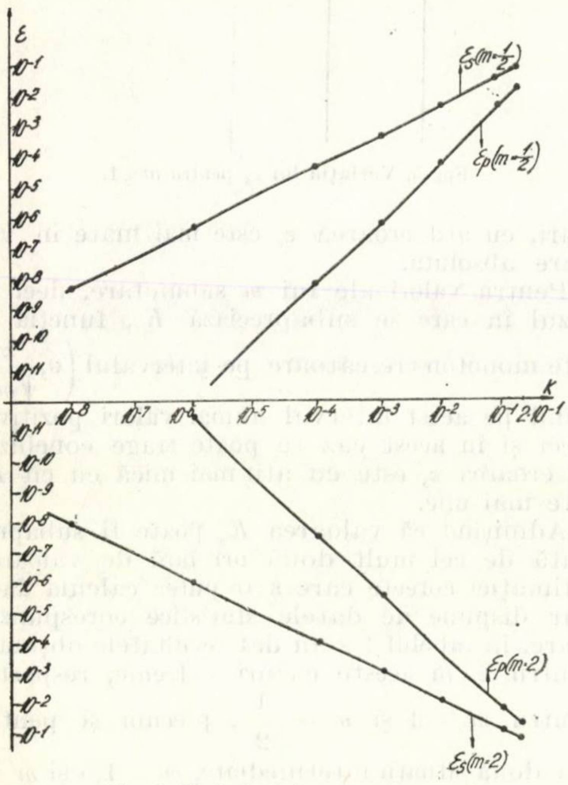


Fig. 6. Variaţia lui $\varepsilon_p$ pentru $m > 1$.

$m$ are aceeaşi semnificaţie ca în cazul montajului-serie.

Se menţionează că cele două elemente legate în paralel pot constitui elemente echivalente rezultate din înserierea altor elemente, aşa cum s-a arătat în figura 3. În acest caz în relaţia (17) valoarea lui $K$ se obţine din relaţia (2), aşa cum s-a procedat la paragraful 1.1.

Deci pentru a vedea ce influenţă are o eroare în aprecierea lui $K$ asupra calculului probabilităţii de nefuncţionare, respectiv asupra duratei medii de nefuncţionare în cazul unei scheme formate din elemente legate în paralel, va trebui să se analizeze funcţia (17), a cărei reprezentare grafică este dată în figurile 6 şi 7 (pentru $m > 1$, respectiv pentru $m < 1$).

Se observă că şi această funcţie este definită tot pe domeniul $(-\infty, -1) \cup \left(-1, -\frac{1}{m}\right) \cup \cup \left(-\frac{1}{m}, +\infty\right)$, la fel ca şi funcţia (16), iar porţiunea din grafic care interesează, avînd în vedere limitele între care poate lua valori $K$ (aceste limite sînt cele stabilite la 1.1 pentru schema formată din elemente legate în serie), comportă aceeaşi discuţie ca şi variaţia funcţiei $\varepsilon_s$.

În figura 8 se dă pe scară logaritmică graficul funcţiei $\varepsilon_p$ pentru $K$ cuprins în intervalul $[10^{-5}, 0{,}2]$.

Pentru aceleaşi erori admise în aprecierea lui $K$, respectiv pentru aceleaşi valori ale lui $m$ considerate în cazul montajului-serie, în tabelul 2 se dau rezultatele obţinute pentru $\varepsilon_p$.

1.3. Din tabelele 1 şi 2 şi din figura 8 se observă, după cum era de aşteptat, că erorile

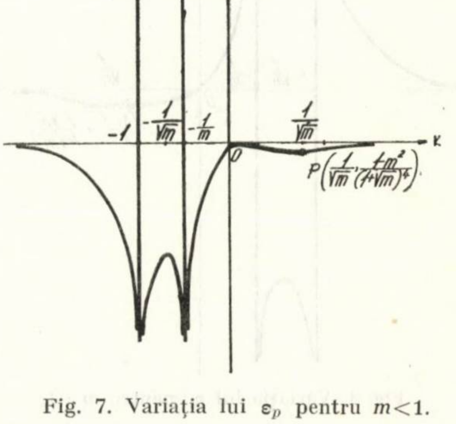


Fig. 7. Variaţia lui $\varepsilon_p$ pentru $m < 1$.

$\varepsilon_p$ sînt mult mai mici decît $\varepsilon_s$, respectiv pentru aceeaşi eroare făcută în aprecierea factorului de avariere $K$ eroarea făcută în calculul probabilităţii de nefuncţionare, respectiv al duratei

medii de nefuncţionare a unei scheme, este mult mai mică la montajul în paralel decît la montajul-serie.

De asemenea, se observă că greşelile care se fac în sensul supraaprecierii de $m$ ori a valorii $K$

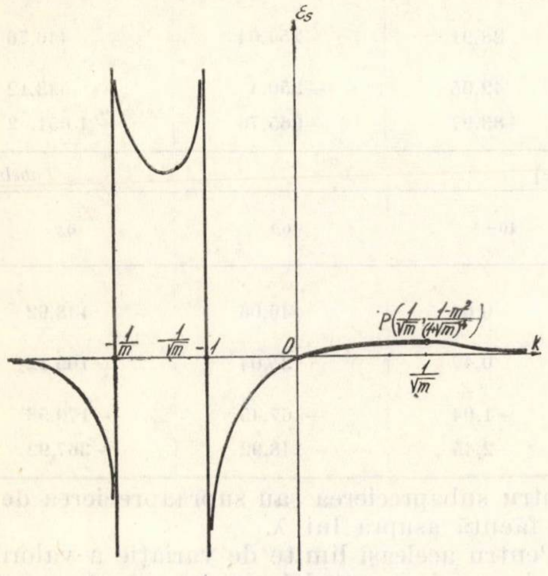



Fig. 8.

au ca urmare obţinerea unei probabilităţi de nefuncţionare şi a unei durate medii de nefuncţionare mai mari decît valorile estimaţiilor lor corecte, adică în acest caz greşelile se fac în sens acoperitor pentru furnizorul de energie (cazul I).

Dacă în evaluarea lui $K$ se greşeşte de $m$ ori în sensul subaprecierii faţă de valorile reale (estimaţiile corecte), se vor obţine pentru probabilitatea de nefuncţionare şi durata medie de nefuncţionare (atît în cazul montajului în paralel cît şi în serie) valori mai mici decît cele reale, ceea ce înseamnă că în acest caz situaţia prezentată de către furnizorul de energie consumatorului va fi îmbunătăţită faţă de situaţia reală (cazul II).

Dacă se notează cu $\varepsilon_1$, respectiv cu $\varepsilon_2$, erorile care se fac în cazul cînd $m$ este supraunitar, respectiv subunitar, cele două situaţii, ţinînd seama de (14), se prezintă schematic în felul următor :

*Cazul I* $(m>1)$

$$\Delta q = q_e - q'_c = -\varepsilon_1 = > q'_c = q_e + \varepsilon_1$$

$$\underbrace{q_e \qquad q'_c}_{\varepsilon_1}$$

*Cazul II* $(m<1)$

$$\Delta q = q_e - q''_c = \varepsilon_2 = > q''_c = q_e - \varepsilon_2$$

$$\underbrace{q''_c \qquad q_e}_{\varepsilon_2}$$

în care

$q'_c$ este valoarea calculată pentru $q$ cu valoarea lui $K$ supraapreciată faţă de estimaţia corectă a lui $K$;

$q''_c$ — valoarea calculată pentru $q$ cu valoarea lui $K$ subapreciată faţă de estimaţia corectă a lui $K$;

$q_e$ — valoarea pentru $q$ care s-ar obţine dacă s-ar cunoaşte din datele statistice corespunzătoare valoarea estimaţiei corecte pentru $K$.

Sintetizînd cele două cazuri, situaţia se prezintă schematic în felul următor :

$$\underbrace{q''}_{\varepsilon_2}\underbrace{q_e \qquad q'_c}_{\varepsilon_1} \qquad \varepsilon_2 < \varepsilon_1$$

Deci, întotdeauna greşind de $m$ ori în aprecierea lui $K$ se va obţine o probabilitate de nefuncţionare mai mare cu $\varepsilon_1$ sau mai mică cu $\varepsilon_2$ decît valoarea $q_e$, după cum $K$ este supraapreciat sau subapreciat de $m$ ori ($\varepsilon_1$ şi $\varepsilon_2$ au valorile date în tabelele 1 şi 2).

Deoarece nu se poate şti în ce sens se face o astfel de eroare, rezultă că la stabilirea valorii $q$ este necesar să existe certitudinea că rezultatul obţinut nu prezintă o situaţie îmbunătăţită faţă de cea reală. Pentru aceasta, înseamnă că probabilitatea de nefuncţionare calculată trebuie să fie mărită cu $\varepsilon_2$; după această operaţie în mod sigur probabilitatea de nefuncţionare va fi cel puţin egală cu valoarea $q_e$ şi cel mult mai mare decît aceasta cu $\varepsilon_1 + \varepsilon_2$.

Această probabilitate de nefuncţionare înmulţită cu timpul de observaţie (de exemplu 1 an = = 8 760 ore) va da o durată totală medie de nefuncţionare acoperitoare.

*Tabelul 2*

$\varepsilon_p = f(K,m)$

| m \ K | $10^{-5}$ | $10^{-4}$ | $10^{-3}$ | $10^{-2}$ | 01 | 0,2 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\frac{1}{2}$ | $0{,}75 \cdot 10^{-10}$ | $0,\ 75 \cdot 10^{-8}$ | $0,\ 75 \cdot 10^{-6}$ | $0,\ 73 \cdot 10^{-4}$ | $0{,}56 \cdot 10^{-2}$ | $0{,}17 \cdot 10^{-1}$ |
| $\frac{1}{1{,}5}$ | $0{,}56 \cdot 10^{-10}$ | $0,\ 56 \cdot 10^{-8}$ | $0{,}55 \cdot 10^{-6}$ | $0,\ 54 \cdot 10^{-4}$ | $0{,}4 \cdot 10^{-2}$ | $0{,}12 \cdot 10^{-1}$ |
| 1,5 | $-0{,}125 \cdot 10^{-9}$ | $-0{,}125 \cdot 10^{-7}$ | $-0{,}124 \cdot 10^{-5}$ | $-0{,}119 \cdot 10^{-3}$ | $-0{,}77 \cdot 10^{-2}$ | $-0{,}205 \cdot 10^{-1}$ |
| 2 | $-0{,}3 \cdot 10^{-9}$ | $-0{,}3 \cdot 10^{-7}$ | $-0{,}3 \cdot 10^{-5}$ | $-0{,}28 \cdot 10^{-3}$ | $-0{,}17 \cdot 10^{-1}$ | $-0{,}42 \cdot 10^{-1}$ |

$\Delta T_s = f(K,m)$ [ore] *Tabelul 3*

| m \ K | $10^{-5}$ | $10^{-4}$ | $10^{-3}$ | $10^{-2}$ | 0,1 | 0,2 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\frac{1}{2}$ | 0,044 | 0,438 | 4,38 | 42,92 | 376,68 | 665,76 |
| $\frac{1}{1,5}$ | 0,031 | 0,30 | 2,98 | 28,91 | 254,04 | 446,76 |
| 1,5 | −0,044 | −0,438 | −4,29 | −42,05 | −350,4 | − 543,12 |
| 2 | −0,0876 | −0,876 | −8,76 | −83,97 | −665,76 | −1 051, 2 |

$\Delta T_p = f(K,m)$ [ore] *Tabelul 4*

| m \ K | $10^{-5}$ | $10^{-4}$ | $10^{-3}$ | $10^{-2}$ | 0,1 | 0,2 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\frac{1}{2}$ | $0,66 \cdot 10^{-6}$ | $0,66 \cdot 10^{-4}$ | $0,66 \cdot 10^{-2}$ | 0,64 | 49,06 | 148,92 |
| $\frac{1}{1,5}$ | $0,49 \cdot 10^{-6}$ | $0,49 \cdot 10^{-4}$ | $0,48 \cdot 10^{-2}$ | 0,47 | 35,04 | 105,12 |
| 1,5 | $-0,11 \cdot 10^{-5}$ | $-0,11 \cdot 10^{-3}$ | $-0,11 \cdot 10^{-1}$ | −1,04 | − 67,45 | −179,58 |
| 2 | $-0,26 \cdot 10^{-5}$ | $-0,26 \cdot 10^{-3}$ | $-0,26 \cdot 10^{-1}$ | −2,45 | −148,92 | −367,92 |

Erorile, exprimate în ore, care se fac asupra duratelor medii de nefuncţionare a schemelor formate din elemente legate în serie, respectiv în paralel, sînt prezentate în tabelele 3 şi 4.

Din aceste tabele se constată deci că erorile ce se fac în aprecierea daunelor din categoria *a* (pct. 1) sînt relativ mici pentru valori ale lui $K$ mai des întîlnite ($K \leqslant 10^{-3}$), în special în cazul schemelor formate din elemente legate în paralel, chiar dacă parametrii de fiabilitate care se introduc în calcul prezintă diferenţe considerabile faţă de valorile corect estimate.

Cum în majoritatea cazurilor consumatorii sînt alimentaţi cel puţin pe două căi paralele, se poate conchide că evaluarea siguranţei în funcţionare, exprimată prin durata totală medie a întreruperilor, poate să servească în unele situaţii şi la preluarea unor obligaţii contractuale între furnizorul şi consumatorul de energie, chiar dacă nu există încă o bază informaţională suficient de precizată.

Cu totul altfel se prezintă situaţia însă în cazul în care s-ar urmări stabilirea unor valori corecte pentru numărul de întreruperi. Întradevăr, pornind de la relaţia [2], [3]:

$$n = q\mu T \tag{18}$$

şi presupunînd că eroarea de apreciere se face de data aceasta fie asupra lui $\mu$, fie asupra lui $\lambda$, raportul dintre numărul mediu de întreruperi $n_c$, calculat cu această eroare, şi numărul de întreruperi $n_e$, reprezentînd valoarea corect estimată a numărului mediu de defecte, va fi

$$\frac{n_c}{n_e} = \frac{1 + K_e}{1 + \frac{K_e}{m}}, \tag{19}$$

pentru subaprecierea sau supraaprecierea de $m$ ori făcută asupra lui $\mu$, şi

$$\frac{n_c}{n_e} = \frac{m\,(1 + K_e)}{1 + mK_e}, \tag{20}$$

pentru subaprecierea sau supraaprecierea de $m$ ori făcută asupra lui $\lambda$.

Pentru aceleaşi limite de variaţie a valorilor $K_e$ şi $m$ ca la punctul 1, se observă că raportul (19) poate lua pe domeniul care interesează valori cuprinse între 0,86 şi 1,09, pentru montajul-serie, iar raportul (20) ia valori cuprinse între 0,5 şi 2.

Deoarece cînd se face calculul nu se poate şti dacă eroarea se face asupra lui $\lambda$ sau asupra lui $\mu$, rezultă că la evaluarea numărului de defecte nu se pot trage aceleaşi concluzii care s-au tras la aprecierea probabilităţii de nefuncţionare, respectiv a duratei totale medii de nefuncţionare, întrucît în acest caz eroarea poate să ajungă la valori considerabile.

Aşa cum s-a arătat însă şi la punctul 1, stabilirea numărului de defecte sau a duratelor totale medii de nefuncţionare este foarte necesară pentru compararea şi optimizarea soluţiilor, deoarece în asemenea operaţii aceste erori intervin foarte puţin.

**Bibliografie**


[1] N i t u, V. I., A l b e r t, H. şi B r ă d e s c u, M. *Metode statistico-probabilistice utilizate în energetică.* Editura tehnică, Bucureşti, 1968.

[2] *** *Perfecţionarea şi adaptarea pentru calculatorul IRIS—50 a metodologiilor, algoritmelor şi programelor de calcul al siguranţei instalaţiilor energetice.* Studiu I.S.P.E., 1971.

[3] *** *Algoritm şi program pentru determinarea siguranţei în funcţionare a blocurilor de 50 şi 30 MW din centralele termoelectrice R.S.R.* Studiu I.S.P.E., 1970.

[4] A l b e r t, H. *Indicaţii privind calculul siguranţei în funcţionare a conexiunilor electrice. I.S.P.E.*

[5] N i t u, V. I., O p r i ş a n, G., P e t r e s c u, A., S t e i n, M. şi T r i f u, C. *Metodă de calcul al siguranţei centralelor electrice.* Comunicare la simpozionul de la Zakopane, R. P. Polonă, mai 1970.


**(Articol intrat în redacţie la 20 martie 1972)**

# Unele aspecte ce trebuie avute în vedere la abordarea calculelor de siguranţă a instalaţiilor

Ing. H. Albert*)

Studiul siguranţei în funcţionare a unei instalaţii începe de la o cunoaştere aprofundată a realităţii, a instalaţiei şi a procesului ce se desfăşoară în acea instalaţie, a funcţiunilor pe care instalaţia respectivă le are de îndeplinit.

Acestei realităţi i se substituie *un model teoretic* conceput ca un ansamblu de definiţii şi ipoteze, din care se deduc consecinţele teoretice implicate în model. El se bazează pe o sinteză inductivă, izvorîtă din experienţă şi constituie un stadiu premergător raţionamentului deductiv prin care se deduc premisele raţionamentului. (De exemplu, ipotezele pe care se întemeiază modelul reparaţiilor planificate sînt induse ca o sinteză a experienţei dobîndite în acest domeniu).

Trebuie subliniat faptul că elaborarea unui model teoretic nu este posibilă fără o experienţă prealabilă referitoare la fenomenul respectiv.

Reprezentarea conceptuală a fenomenului se realizează în două etape:

— *prin concepte energetice*, bazate în mod larg pe intuiţie;

— *prin concepte matematice*, obţinute exclusiv prin abstractizare.

Scopul acestor reprezentări este de a obţine, prin intermediul unui lanţ de deducţii logice, unele concluzii teoretice cu referire la fenomenul energetic studiat.

Considerînd concluziile teoretice, dar şi rezultatele observaţiei realităţii, se pot obţine concluzii cu referire la consecinţele reale. Figura 1 prezintă schematic cele expuse.

*

Stabilirea fiabilităţii unui echipament sau a unei instalaţii în fază de proiect comportă mai multe activităţi, dintre care se menţionează [1]:

— studii asupra efectelor mediului, atît naturale cît şi determinate de funcţionarea instalaţiei (echipamentului însuşi);

— dezvoltarea de modele matematice pentru descrierea atributelor echipamentului (instalaţiei);

— selecţia componentelor, legate de analiza constrîngerilor (condiţiilor) şi a efectelor refuzului (defectării) fiecăreia dintre acestea;

— încercări şi corectări ale limitelor de asigurare;

— corectarea stărilor de refuz repetate prin modificarea proiectului (acţiune corectivă):

— punctele comune cu alte activităţi, ca: întreţinerea, exploatarea.

Fiabilitatea „intrinsecă" a unui produs (sau dispozitiv) este stabilită prin concepţia sa, aşa cum a fost definită prin documentaţia tehnică. Activităţile ulterioare proiectării (echipament, montaj, exploatare etc.) micşorează de obicei

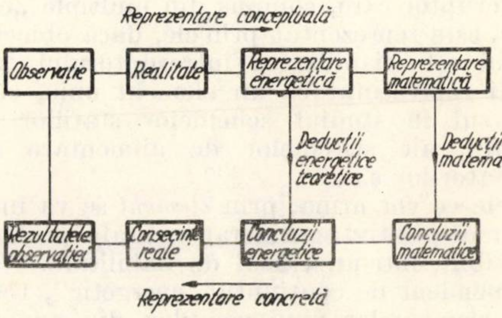



Fig. 1

fiabilitatea sub nivelul intrinsec al produsului.

Pentru un utilizator, fiabilitatea unui dispozitiv ( a unui produs) este acea caracteristică de fiabilitate care îl interesează cel mai mult.

Mediul în care va funcţiona o instalaţie trebuie prevăzut şi, pe măsură ce apar date suplimentare mai complete, caracterul instalaţiei trebuie corectat. Este, de asemenea, important ca proiectanţii să obţină informaţii şi să acorde atenţie problemelor de constrîngeri şi factori umani care survin în execuţia, întreţinerea şi funcţionarea instalaţiei. Toate criteriile de mediu şi factori umani ar trebui cuprinse în proiect şi în liste de verificare a parametrilor determinanţi ai stării de succes.

Pentru instalaţia în ansamblu şi componentele sale trebuie stabilit de către viitorul utilizator sau de către proiectant scopul şi nivelul de fiabilitate cerut. De regulă, modelul (sau modelele) matematic stabilit pentru predeterminarea fiabilităţii instalaţiei este apoi utilizat pentru comparaţii între prevedere şi realitate, după ce se obţin rezultate ale probelor sau din exploatare.

Fiabilitatea intrinsecă a oricărui proiect depinde în mare măsură de alegerea corectă şi utilizarea corespunzătoare a componentelor în proces. Numai după analiza constrîngerilor la care este supus sistemul pot fi stabilite caracteristicile de fiabilitate ce trebuie adoptate, precum şi modul de conectare şi de rezervare a componentelor.

Trecerea de la realitate la reprezentarea energetică este cunoscută tuturor proiectanţilor.

Schemele, mai mult sau mai puţin detaliate, urmăresc reprezentarea conceptuală a fenomenului fizic.

O analiză a acestor scheme va arăta că în ele apar explicit, pentru reprezentarea unui acelaşi proces, mai multe sau mai puţine ele-

* Hermina Albert este proiectant principal I la I.S.P.E.

mente, în funcţie de scopul urmărit. Astfel, spre exemplu, la analiza funcţionării unui cazan apar, în detaliu, în afara cazanului propriu-zis, vane, ventile, conducte, pompe, ventilatoare ş.a. Acelaşi cazan, la analiza funcţionării unui bloc turbogenerator, este adesea considerat ca un singur element (echivalent).

Un exemplu asemănător îl poate constitui un întreruptor care, compus din multiple ,,elemente'', este reprezentat prin ele, dacă obiectul studiului este fiabilitatea întreruptorului, sau poate fi reprezentat ca un element unic, cum este cazul în studiul schemelor staţiilor de conexiuni, ale sistemelor de alimentare ale consumatorilor ş.a.

În cele ce vor urma, prin *element* se va înţelege un dispozitiv considerat entitate primară (indivizibil), într-un calcul de fiabilitate.

Independent de conţinutul ,,energetic'', totalitatea elementelor unui complex, din punctul de vedere al studiului siguranţei în funcţionare, sînt conectate în ,,serie'' sau în ,,paralel''. Spre exemplu :

— cazanul—turbina—generatorul—transformatorul—întreruptorul unui bloc turbogenerator reprezintă o conectare în serie a mai multor elemente, ieşirea din funcţiune a oricăruia dintre elementele enumerate ducînd la întreruperea funcţionării întregului complex ;

— o bară colectoare cu separatoarele de bare ale plecărilor şi descărcătoarelor legate la bară constituie, de asemenea, o conectare serie din punctul de vedere al studiului siguranţei în funcţionare ;

— cele două electropompe de alimentare ale cazanului, care se pot rezerva reciproc, constituie două elemente în paralel ;

— mai multe blocuri turbogeneratoare conectate la o aceeaşi bară colectoare constituie elemente în paralel, în raport cu bara, ieşirea din funcţiune a unui element dintr-o serie reprezentînd blocul neavînd repercusiuni asupra funcţionării ansamblului ;

— bara colectoare, a cărei ieşire din funcţiune determină oprirea tuturor blocurilor ce debitează pe ea, constituie un element în serie cu fiecare bloc turbogenerator în parte.

În cele ce urmează se vor înţelege prin : *elemente-serie* — acele elemente a căror nefuncţionare în ansamblu este determinată de defectarea oricăruia dintre ele ;

*elemente-paralel* — acele elemente a căror funcţionare nu este reciproc condiţionată, la defectarea unuia dintre ele circuitul (complexul) din care fac parte continuînd să funcţioneze la plină capacitate sau cu capacitate parţială (în funcţie de gradul de rezervare al instalaţiei).

După cum rezultă din cele de mai sus, reprezentarea energetică va cuprinde elemente, conectate în serie sau în paralel, funcţional *dependente* sau *independente*.

Observarea comportării în timp a unui element reparabil permite cunoaşterea pentru un interval de timp calendaristic ($T_c$) determinat.

$T$ este intervalul de timp în care elementul era prevăzut să funcţioneze ;

$T_{Rp}$ — intervalul de timp prevăzut pentru reparaţii planificate ;

$T_R$ — intervalul de timp în care elementul era prevăzut să fie în rezervă rece ;

$$T_c = T + T_{Rp} + T_R$$

$T_f$ — intervalul de timp în care elementul a funcţionat ;

$N$ — numărul de defectări (opriri forţate) ;

$T_d$ — intervalul de timp în care elementul a fost oprit forţat.

Cu aceste elemente se pot determina :

— coeficientul de avariere, raportul dintre durata totală de refuz a unui dispozitiv şi durata de funcţionare planificată :

$$q = \frac{T_d}{T} \; [\%]$$

— intensitatea de avariere, densitatea probabilităţii condiţionate ca dispozitivul aflat în stare de succes (funcţionare) la momentul $t$ să treacă în stare de refuz (defect) în intervalul $(t,\ t + dt)$ :

$$\lambda = \frac{N}{T_f} = \frac{1}{\hat{T}_f} \; [s^{-1}]$$

$\hat{T}_f$ — durata medie de funcţionare între două opriri forţate ;

— intensitatea de reparare, densitatea probabilităţii condiţionate ca dispozitivul aflat în stare de refuz (defect) la momentul $t$ să treacă în stare de succes (funcţionare), în intervalul $(t,\ t + \Delta t)$ :

$$\mu = \frac{N}{T_d} = \frac{1}{\hat{T}_d} \; [s^{-1}]$$

$\hat{T}_d$ — durata medie a unei opriri forţate.

$\lambda$ şi $\mu$ au caracterul unor frecvenţe medii ale avariilor, respectiv reparaţiilor.

Coeficientul de avariere are un conţinut de informaţii mai redus decît $\lambda$ şi $\mu$. Relaţia dintre aceste mărimi este, pentru perioade de observaţie foarte lungi ($t \to \infty$) :

$$q = \frac{\hat{T}_d}{\hat{T}_f + \hat{T}_d} \; [\%]$$

Parametrii $q$, $\lambda$ şi $\mu$ vor fi suficienţi pentru caracterizarea elementelor în toate modelele matematice prin care va fi reprezentat modelul energetic.

*

Reprezentarea energetică permite să se stabilească condiţiile care trebuie îndeplinite pentru realizarea ,,stării de succes'' (respectiv situaţiile

ce conduc la stare de refuz). Concluziile matematice împreună cu concluziile energetice vor permite o interpretare completă și stabilirea gradului de fiabilitate proiectat al instalației.

Starea de succes este aceea în care sînt îndeplinite condițiile de funcționare impuse sistemului sau elementului considerat.

Rețeaua de alimentare a unui consumator industrial este de regulă tratată ca o conexiune alcătuită din elemente „dependente", așa cum este și fizic.

Din analiza figurii 2 se pot constata următoarele :

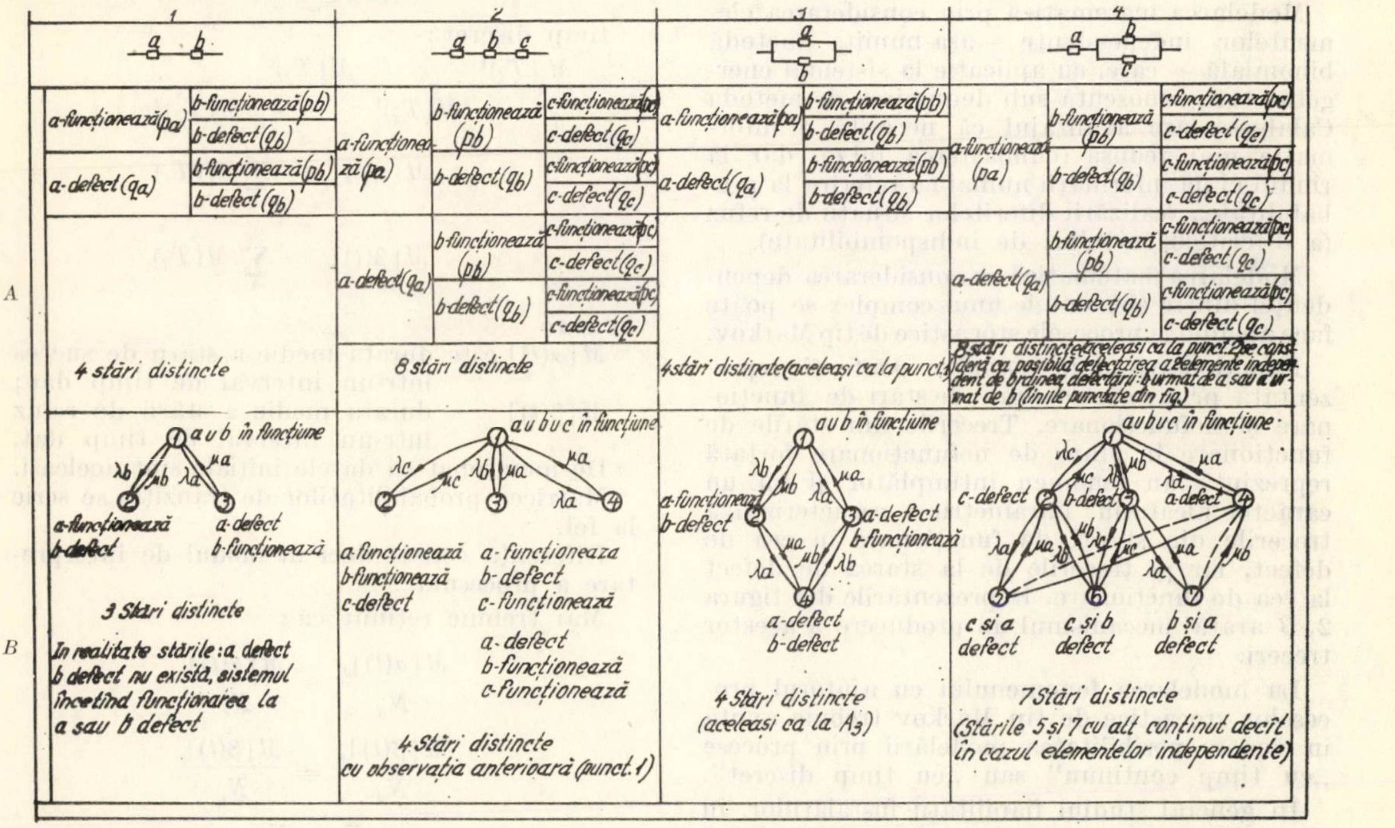



Fig. 2. Analiza funcționării unui complex considerînd elementele sale „independente" (*A*) sau „dependente" (*B*)

Starea de refuz este aceea în care nu sînt îndeplinite condițiile de funcționare impuse sistemului sau elementului considerat.

Un aspect important al alegerii modelului matematic îl constituie modul de considerare a elementelor care alcătuiesc complexul : ca elemente „independente" *(A)* sau „dependente" *(B)*. În figura 2 se arată comparativ în ce constă modelarea unei scheme date în cele două moduri.

Este necesar să se precizeze că, uneori, pentru simplificarea calculelor și în cazul unor anumite valori ale parametrilor, modelul matematic corespunde unor elemente „independente", deși fizic elementele complexului sînt funcțional dependente.

Adesea, pentru determinarea „deficienței" (gradul de neacoperire a consumului), centralele unui sistem energetic sînt reprezentate ca elemente independente, debitînd pe o bară unică la care se află întregul consum, deși fizic puterea (și energia) acestor centrale ajunge la consumatori prin rețeaua de transport (elemente-serie).

— modelarea matematică corespunzătoare unor elemente considerate „independente" este aceeași pentru conectarea acestora în serie sau în paralel;

— la conectarea în paralel a elementelor, modelarea considerînd elemente „independente" sau „dependente" este aceeași ;

— la circuite tehnologice compuse din elemente-serie și paralel, modelarea prin elemente „independente" poate duce la o exprimare aproximată a fenomenului, numărul și conținutul stărilor fiind diferite de cele reale.

Se poate constata că modelarea matematică considerînd elemente independente este acoperitoare (pesimistă). Prin această modelare se consideră că orice element se poate opri forțat, independent de starea celorlalte (deci și în perioadele în care el real nu funcționează, deoarece un element oarecare al seriei este oprit forțat).

Abaterile obținute pentru probabilitatea stării de succes (sau refuz) între cele două moduri de modelare depind de parametrii de fiabilitate a

schemelor. Spre exemplu, dacă într-un circuit format dintr-un separator, întreruptor—separator, linie—transformator, întreruptor şi separator fiabilitatea transformatorului este redusă (o avarie la 3 ani, durata de reparare — 6 luni), valorile obţinute pentru probabilitatea stării de succes pot fi mai mici cu 10—17%.

Modelarea matematică prin considerarea elementelor independente — aşa-numita metodă binomială — care, cu aplicaţie la sistemul energetic, este cunoscută sub denumirea de metoda Calabrese, are avantajul că necesită o informaţie mai redusă (cunoaşterea lui $q$), dar la rîndul ei dă informaţii numai cu referire la probabilitatea realizării diferitelor situaţii de refuz (a diferitelor niveluri de indisponibilitate).

Modelarea matematică cu considerarea dependenţei dintre elementele unui complex se poate face apelînd la procesele stocastice de tip Markov.

Funcţionarea unui complex poate fi reprezentată printr-o succesiune de stări de funcţionare şi nefuncţionare. Trecerile din stările de funcţionare în stare de nefuncţionare forţată reprezintă un fenomen întîmplător şi au un caracter aleatoriu. Parametrii $\lambda$ caracterizează trecerile din starea de funcţionare în cea de defect, iar $\mu$, trecerile de la starea de defect la cea de funcţionare. Reprezentările din figura 2, *B* arată mecanismul de producere a acestor treceri.

La modelarea fenomenului cu ajutorul proceselor stocastice de tip Markov trebuie avută în vedere posibilitatea modelării prin procese ,,cu timp continuu'' sau ,,cu timp discret''.

În general studiul fiabilităţii instalaţiilor, în proiectare, se face cu referire la perioade lungi de observaţie (cîţiva ani), fără o cunoaştere amănunţită şi exactă a planurilor de reparaţie, a structurii şi a situaţiei instalaţiilor la un moment $t$ oarecare.

Modelarea prin procese Markov cu timp continuu permite să se considere că, pentru o perioadă de studiu mai lungă, probabilităţile absolute ale diferitelor stări prin care trece instalaţia sînt practic independente de starea iniţială a sistemului şi valorile obţinute pentru diferiţii indicatori numerici de fiabilitate cu referire la un interval de timp dat (durata medie a stării de succes, durata medie a stării de refuz, durata medie a unei perioade de funcţionare, durata medie a unei perioade de refuz, numărul stărilor de refuz) prezintă o exactitate suficientă.

Modelarea prin procese Markov cu timp discret permite determinarea duratei medii a stării de succes pînă la primul refuz $M(T)_1$, pînă la al doilea refuz $M(T)_2$ ş.a., respectiv duratele medii ale stărilor de refuz în ordinea producerii lor.

Dacă s-ar reprezenta rezultatele obţinute prin cele două modele:

timp continuu:

$$|\underline{\quad M(T_f) \quad}|\underline{\quad M(T_d)) \quad}|$$

$$M[\alpha(t)]_c = N_c \cdot M(T_f$$

$$M[\beta(t)]_c = N_c \cdot M(T_d)$$

timp discret:

$$|\underline{\quad M(T_f)^1 \quad}|\overline{\quad M(T_d)^1 \quad}|\underline{\quad M(T_f)^2 \quad}|\overline{\quad M(T_d)^2 \quad}| - - -$$

$$M[\alpha(t)]_d = \sum_{1}^{N_d} M(T_f)_i$$

$$M[\beta(t)]_d = \sum_{1}^{N_d} M(T_d)_i$$

în care

$M[\alpha(t)]$ este durata medie a stării de succes într-un interval de timp dat;

$M[\beta(t)]$ — durata medie a stării de refuz într-un interval de timp dat.

De menţionat că datele iniţiale sînt aceleaşi.

Matricea probabilităţilor de tranziţie se scrie la fel.

Diferenţa constă deci în modul de interpretare a procesului.

Mai trebuie reţinut că:

$$\frac{M[\alpha(t)]_d}{N_d} \cong \frac{M[\alpha(t)]_c}{N_c}$$

$$\frac{M[\beta(t)]_d}{N_d} \cong \frac{M[\beta(t)]_c}{N_c}$$

$$N_d \cong N_c$$

pentru timpi lungi de observaţie.

În I.S.P.E. există programe de calcul la calculatorul IRIS—50 pentru metoda binomială şi procese Markov cu timp continuu.

•

În instalaţiile energetice, practica de proiectare şi exploatare a condus la introducerea unor elemente de rezervă. Pînă în prezent introducerea acestor elemente s-a făcut numai în mică măsură pe baza unei justificări tehnico-economice, ca urmare a creşterii continuităţii în funcţionare. Calcule de acest fel vor trebui introduse în mod curent şi de aceea este necesar să se discute unele aspecte ce trebuie avute în vedere la modelarea matematică a instalaţiilor cu elemente de rezervă.

Rezerva poate fi de trei feluri:

*a*) activă (turnantă)
*b*) semiactivă (caldă)
*c*) pasivă (rece)

Se va lua pentru exemplificare (deşi mai puţin uzuală astăzi) schema unei centrale cu o

turbină și două cazane, puterea nominală a centralei putînd fi asigurată cu un cazan (fig. 3).

Alegerea între cele trei moduri de exploatare depinde de parametrii de fiabilitate ai elementelor, dar și de timpii de pornire a rezervei

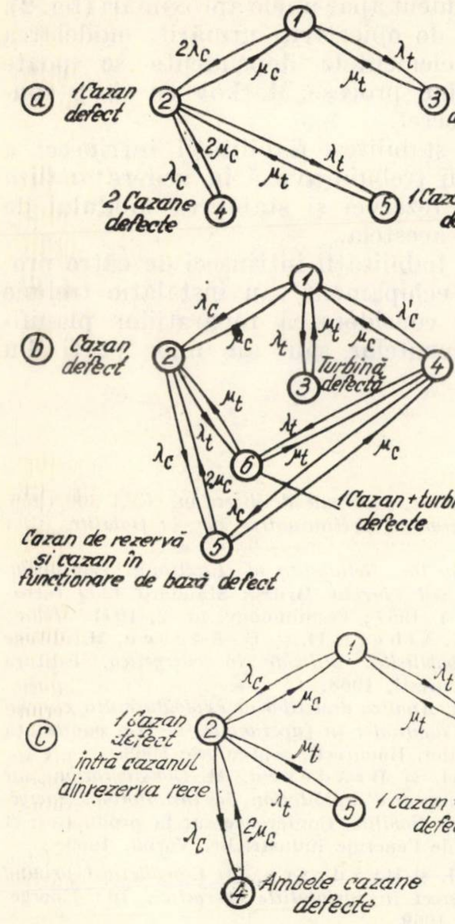



Fig. 3.

reci (și aducerea elementului rezervă rece la parametrii nominali) sau de aducere a elementului în rezervă caldă la parametrii nominali. Solicitarea maximă a elementelor este la funcționarea cu rezervă activă și, dacă frecvența de defectare este mare ($\lambda$) iar durata de reparare lungă, o astfel de exploatare poate fi mult mai puțin sigură decît una cu echipamentele în rezervă rece.

Trebuie evidențiat și un alt aspect. Dacă se urmărește efectul introducerii elementelor de rezervă într-o instalație (de exemplu, EPA într-o centrală termoelectrică), toate elementele — cu excepția celui a cărui rezervare se urmărește a fi analizată — pot fi înlocuite cu un element echivalent [8].

Spre exemplu, întregul bloc turbogenerator — cu excepția electropompei de alimentare — va fi un element echivalent.

În figura 4 *a* este reprezentat un turbogenerator cu electropompă (*EP*) proprie în serie cu el și electropompă de rezervă, a cărei montare va trebui justificată tehnico-economic. Analog, în figurile 4 *b* și 4 *c* apar o electropompă de rezervă la două grupuri sau două electropompe de rezervă (la fiecare grup cîte una).

Din această parte a expunerii trebuie reținut faptul că este posibilă — prin calcule tehnico-economice cu considerarea siguranței în funcționare — analiza oportunității elementelor de rezervă.

De asemenea se poate stabili, la nivel de proiect, modul de exploatare a rezervei corelat cu indicatorii de fiabilitate ai proiectului.

*

În analiza siguranței în funcționare a instalațiilor proiectate trebuie acordată o atenție deosebită perioadelor de reparație planificată a unor părți de instalații sau a unor instalații în totalitatea lor.

Pentru exemplificare se va considera cazul unui consumator de energie electrică alimentat printr-un singur racord adînc. Repararea planificată a oricărui element de pe acest racord conduce la întreruperea alimentării consumatorului. Dacă elementele au o fiabilitate ridicată, durata de întrerupere forțată a consumatorului poate reprezenta anual 2–5% din durata de întrerupere planificată.

În mod analog, în cazul alimentării cu căldură a unor consumatori prin CAF-uri, în timpul perioadei de iarnă trebuie făcute reparații planificate, care reduc gradul de siguranță în raport cu situația în care toate elementele sînt în funcțiune.

Rezultă că studiul siguranței în funcționare a unei instalații trebuie făcut diferențiat, pe

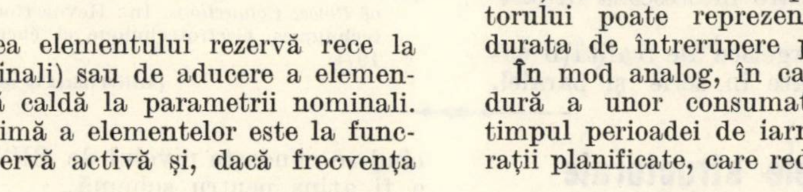



Fig . 4.

perioade care se referă la o aceeaşi configuraţie a instalaţiilor ($k$).

$$T = \sum_{1}^{N} T_k \text{ [h]}$$

Indicatorii de siguranţă se determină pentru fiecare perioadă în parte şi se pot obţine unii indicatori globali pe perioada de observaţie (de exemplu, durata medie totală a stării de succes).

Indicatorul denumit „siguranţa serviciului", care exprimă probabilitatea ca într-un interval ($t$, $t + x$) să fie păstrată starea de succes a unei instalaţii, va da indicaţii suplimentare asupra probabilităţii de suprapunere peste o reparaţie planificată de durată $x$, începută la un moment oarecare $t$, a unei avarii [4].

Pentru duratele de reparaţii planificate există norme ale M.E.E. Este interesant — în proiectare — să se stabilească influenţa unor reparaţii intensive asupra fiabilităţii instalaţiilor.

Trebuie observat faptul că fiabilitatea este influenţată în mod deosebit şi de o mai bună organizare a reparaţiilor accidentale, care se reflectă în $\mu$ (valoarea lui creşte) şi în durata medie de refuz. Aceasta constituie — în cazul unor componente cu fiabilitate scăzută — una dintre căile principale (în afara rezervării elementelor) de creştere a siguranţei în funcţionare.

*

În concluzie trebuie reţinut :

1) Studiul fiabilităţii necesită o reprezentare realitate — model energetic — model matematic (conceptuală), precum şi o reprezentare concluzii matematice — concluzii energetice — consecinţe reale (reprezentare concretă).

2) Fiabilitatea intrinsecă a unei instalaţii se determină în faza de proiect cu considerarea condiţiilor de mediu, a selecţiei componentelor, a punctelor comune cu alte activităţi, a caracteristicii de fiabilitate care interesează utilizatorul.

3) Reprezentările energetice ale realităţii cuprind elemente conectate în serie şi paralel, cu o funcţionare reală dependentă sau independentă a unora faţă de celelalte.

4) Modelarea matematică se face cu considerarea elementelor ca fiind independente sau dependente. Dacă nu există o corelare cu procesul fizic, evident apar unele aproximări (fig. 2).

În funcţie de obiectivul urmărit, modelarea considerînd elementele dependente se poate realiza utilizînd procese Markov cu timp continuu sau discret.

5) Pentru stabilirea fiabilităţii intrinseci a unei instalaţii trebuie avută în vedere analiza oportunităţii rezervei şi stabilirea modului de exploatare a acesteia.

6) Analiza fiabilităţii intrinseci de către proiectantul de echipament sau instalaţie trebuie efectuată cu considerarea reparaţiilor planificate ale elementelor sau ale unor părţi din instalaţie.

**Bibliografie**


[1] * * * *La fiabilité, problème de direction.* CEI 300/1969.

[2] * * * *Considérations préliminaires sur la fiabilité.* CEI 272/1968.

[3] *** *Guide on the Reliability of Electronic Equipment and Parts Used Therein.* British Standard 4200 Introduction, nr. 1, 1967 ; Terminology, nr. 2, 1971.

[4] Nitu, V. I., Albert, H. şi Brădescu, M. *Metode statistico-probabilistice utilizate în energetică.* Editura tehnică, Bucureşti, 1968.

[5] Albert, H. *Analiza deciziilor de exploatare din punctul de vedere al siguranţei în funcţionare.* A II-a conferinţă a electricienilor, Bucureşti, septembrie 1969.

[6] Albert, H. şi Brădescu, M. *Considérations sur l'influence du mode d'exploitation des installations énergétiques sur leur fiabilité.* Conférence sur la production et l'utilisation de l'énergie industrielle. Varna, 1969.

[7] Albert, H. şi Brădescu, M. *Consideraţii privind folosirea rezervei în instalaţiile energetice.* În : Energetica, nr. 10, 1969.

[8] Albert, H. *Equivalent Diagrams for Reliability Studies of Power Connections.* În : Revue Roumaine des sciences techniques, électrotechnique et énergetique, Tome 16, 1971.



**(Articol intrat în redacţie la 9 martie 1972)**


# Analiza unor modele structurale de siguranţă în funcţionare (cu aplicaţie în energetică)


Dr. ing. **E. Diatcu**
şi matem. **D. N. Dobrescu***)


Articolul prezintă o problemă de analiză a unor modele structurale din punctul de vedere al siguranţei în funcţionare (SF) a acestora, şi anume determinarea limitelor parametrilor de SF ai ansamblurilor componente ale schemei, cînd se cunoaşte nivelul de SF*) ce se doreşte a fi atins pentru schemă.

În prima parte a lucrării se analizează cazul general al unei structuri oarecare, obţinîndu-se cu ajutorul unor relaţii cunoscute din teoria probabilităţilor formulele pentru parametrii de SF ai elementelor, corelat cu gradul general de SF impus sistemului. În partea a doua este indicată o metodă originală de automatizare a tehnicii de calcul respective pentru structuri cu un număr mare de subansambluri. În final, în anexă se arată cîteva dintre exemplele pentru care autorii au efectuat astfel de analize, exemple ce se referă la automatizări industriale şi structuri energetice.


*) Eugeniu Diatcu este expert la Institutul central pentru sisteme de conducere cu mijloace de automatizare (ICSCMA). Dan N. Dobrescu este cercetător ştiinţific la Institutul de cercetări şi proiectări de automatizări (I.P.A.).


*) Prin nivel de SF se înţelege probabilitatea $P(t)$ ca schema respectivă să se găsească în intervalul de timp $(0, t)$ în stare de funcţionare, în condiţiile de exploatare date.

## 1. Estimarea limitelor parametrilor de SF ai subansamblurilor componente ale unei scheme pentru nivelul de SF al schemei admis

Problema care se pune presupune determinarea limitelor probabilităţilor de funcţionare ale fiecărui subansamblu, astfel încît probabilitatea de funcţionare a schemei să fie cel puţin egală cu nivelul de SF admis.

Problema enunţată pentru cazul general revine la rezolvarea sistemului de inecuaţii:

$$\sum_{m=0}^{n} [\sum_{\{i,\bar{j}\}} \prod_{i}^{m} p_i \prod_{j\neq i} (1-p_j) f_{i\bar{j}}] \geqslant P(t)^{*)} \quad (1)$$

$$a_j \leqslant p_j \leqslant b_j \quad j = 1, \cdots, n$$

în care

$a_j$ (respectiv $b_j$) este limita inferioară (respectiv superioară) a probabilităţii de funcţionare a subsansamblului $j$ în momentul $t^{**}$;

$p_i$, $p_j$ — probabilitatea de funcţionare corectă a subansamblului $i$ sau $j$ (cerinţele de SF pentru fiecare subsansamblu, în vederea realizării nivelului de SF dorit);

$n$ — numărul de subansambluri ale schemei;

$\{i, \bar{j}\}$ — totalitatea combinaţiilor ce se pot face cu $m$ elemente ce funcţionează corect şi cu $(n-m)$ ce nu funcţionează corect (totalitatea acestor combinaţii este $2^n$);

$f_i$, $\bar{j}$ — probabilitatea condiţionată ca schema să funcţioneze corect, dacă $m$ componente (ai căror indici sînt daţi de $i$) din cele $n$ componente funcţionează corect, iar $(n-m)$ componente (ai căror indici sînt daţi de $j$) nu funcţionează corect.

De semnalat că unele particularizări ale metodei generale prezentate mai sus au fost deja elaborate în condiţiile repartiţiei exponenţial negative a procesului de apariţie a defecţiunilor în [5], precum şi în [6], pentru unele sisteme de ridicat şi transportat.

Din ecuaţia (1) rezultă condiţia de compatibilitate a problemei enunţate în cazul general, şi anume:

$$P(t) \leqslant \sum_{m=0}^{n} [\sum_{\{i,\bar{j}\}} \prod_{i} b_i \prod_{j\neq i} (1-b_j) f_{i,\bar{j}}] \quad (2)$$

Dacă condiţia (2) nu se realizează, rezultă că nivelul de SF, $P(t)$, nu poate fi atins nici prin utilizarea celor mai bune piese care s-ar putea realiza în momentul respectiv.

Prin urmare, nivelul de SF admis poate fi atins numai cu ajutorul metodelor de rezervare a subansamblurilor sau a structurii acestora sau a sistemului.

Se poate demonstra, cu ajutorul elementelor de geometrie analitică, că în cazul în care condiţia (2) este adevărată, precum şi dacă relaţia:

$$\sum_{m=0}^{n} [\sum_{\{i,\bar{j}\}} \prod_{i} a_i \prod_{j\neq i} (1-a_j) f_{i\bar{j}}] \leqslant P(t) \leqslant$$

$$\leqslant \sum_{m=0}^{n} [\sum_{\{i,\bar{j}\}} \prod_{i} b_i \prod_{j\neq i} (1-b_j) f_{i,\bar{j}}] \quad (3)$$

este îndeplinită, atunci, pentru fiecare subansamblu $k$ dat al schemei, limita inferioară a probabilităţii de funcţionare corectă, pentru care se atinge nivelul de SF admis, $P(t)$, este*) :

$$P_k \geqslant p^k_{inf\sigma} \quad (4)$$

unde

$$p^k_{inf\sigma} = \begin{cases} \dfrac{P(t)-A(k)}{B(k-A(k)}, & \text{pentru acei } k \text{ pentru care condiţia (8) este îndeplinită, în condiţiile în care relaţiile(8) sînt îndeplinite pentru o parte sau pentru toţi indicii } k; \\ a_k, & \text{pentru acei } k \text{ pentru care condiţia (8) nu este îndeplinită, în condiţiile în care relaţiile (8) sînt îndeplinite pentru o parte din indicii } k; \\ b_k, & \text{dacă relaţia (8) nu este îndeplinită pentru toţi indicii } k. \end{cases} \quad (5)$$

$$-A(k) = \sum_{m=0}^{n} [\sum_{\{i,\bar{j};k\}} \prod_{\substack{i \\ i\neq k}} a_i \prod_{\substack{j\neq i \\ j\neq k}} (1-a_j) f_{i,\bar{j}}] \quad (6)$$

$$-B(k) = \sum_{m=0}^{n} [\sum_{\{i,\bar{j};k\}} \prod_{\substack{i \\ i\neq k}} a_i \prod_{\substack{j\neq i \\ j\neq k}} (1-a_j) f_{i,\bar{j}}] \quad (7)$$

$$-P(t) \leqslant \sum_{m=0}^{n} [\sum_{\{i,\bar{j}\}} \prod_{\substack{i \\ i\neq k}} a_i \prod_{\substack{j\neq i \\ j\neq k}}] (1-a_j) f_{i\bar{j}}\, C(k; i; \bar{j}) \quad (8)$$

*) Prima parte a inegalităţii reprezintă formula de calcul al probabilităţii de funcţionare corectă a unei scheme formate din $n$ elemente diferite [1], considerate ca elemente independente.

**) Mărimile $a_j$ (respectiv $b_j$) corespund produselor cu cea mai scăzută SF (respectiv produselor cu cea mai înaltă SF) cunoscute pe plan mondial la momentul respectiv.

*) De semnalat că orice valoare a probabilităţii de funcţionare în intervalul $[p^k_{inf}, b_k]$ este o soluţie a problemei enunţate. S-a ales cea mai mică valoare, pentru că aceasta corespunde în general costului minim.

$$- C(k;i;j) = \begin{cases} b_k, \text{ dacă subansamblul } k \text{ în combinaţia } \{i, \bar{j}\} \text{ este în stare de funcţionare;} \\ 1 - b_k, \text{ în caz contrar} \end{cases} \quad (9)$$

în care

$\{i, \bar{j}; \bar{k}\}$ este totalitatea combinaţiilor $\{i, \bar{j}\}$ cu subansamblul $k$ în stare defectă (totalitatea acestor combinaţii este $2^{n-1}$);

$\{i, \bar{j}; k\}$ — totalitatea combinaţiilor $\{i,\bar{j}\}$ cu subansamblul $k$ în stare de funcţionare (totalitatea acestor combinaţii este $2^{n-1}$).

Pe de altă parte, dacă condiţia (2) este adevărată, precum şi dacă relaţia:

$$P(t) \leqslant \sum_{m=0}^{n} [\sum_{\{i,\bar{j}\}} \prod_i a_i \prod_{j \neq i} (1 - a_j) f_{i,\bar{j}}] \quad (10)$$

este îndeplinită, atunci, pentru fiecare subansamblu $j$ dat, soluţia problemei enunţate este:

$$p_j = a_j \quad j = 1, \ldots, n \quad (11)$$

## 2. Automatizarea tehnicii de calcul

În cazul structurilor cu un număr mare de subansambluri sau complicate din punctul de vedere al legăturilor, calculul „manual", conform metodologiei descrise în paragraful 1, este dificil; de aceea soluţionarea problemei cu ajutorul unui program automat devine absolut necesară. Pentru rezolvarea automată a problemei se definesc următoarele mărimi:

— matricea $ST\ (I,\ J)$ — matricea conexiunilor, în care

$$ST\,(I,J) = \begin{cases} 1, \text{ dacă ieşirea de la subansamblul } I \text{ este intrare pentru subansamblul } J; \\ 0, \text{ în caz contrar;} \end{cases}$$

($I, J = 1, \ldots, N$ — numărul de subansambluri componente);

— vectorul $IN\ (I)$ — vectorul intrărilor, unde:

$$IN\ (I) = \begin{cases} 1, \text{ dacă intrarea este legată direct de subansamblul } I; \\ 0, \text{ în caz contrar;} \end{cases}$$

— vectorul $ES\ (I)$ — vectorul ieşirii, în care

$$ES\,(I) = \begin{cases} 1, \text{ dacă subansamblul } I \text{ este o ieşiere directă;} \\ 0, \text{ în caz contrar.} \end{cases}$$

Programul se desfăşoară cu ajutorul următoarelor subprograme:

1. Subprogram de citire a:

$N$ — numărul de subansambluri ale structurii;

$M$ — numărul de niveluri de SF pentru care se execută analiza;

$P\ (NI)$, $NI = 1$, $M$ — niveluri de SF;

$A(J), B(J), IN(J), ES(J)$ $J = 1$, $N$ — limita inferioară a probabilităţii de funcţionare a subansamblului $J$, limita superioară a aceleiaşi probabilităţi, vectorul intrării, vectorul ieşirii;

$ST\ (I,J)$, $I,J = 1$, $N$ — matricea conexiunilor.

2. Subprogram de generare a combinaţiilor de subansambluri ce nu funcţionează corect, notate cu $V\ (I,\ K)$, în care

$$V(I,K) = \begin{cases} 1, \text{ dacă în combinaţia } I, \text{ subansamblul } K \text{ nu funcţionează corect;} \\ 0, \text{ în caz contrar} \end{cases}$$

($I = 1, \ldots, 2^N$; $K = 1, \ldots, N$).

3. Subprogram de iniţializare a matricelor de lucru $C(R,S)$, $STD\ (R,S)$ ($R,\ S = 1,\ N$).

4. Subprogram de modificare a elementelor liniei $K$ a matricei $ST\ (K,J)$ în prezenţa stării de defectare $V\ (L,\ K)$, după algoritmul:

$$STD\ (K,J) = \begin{cases} 0, \text{ dacă } V\ (L,K) = 1 \text{ pentru } L \text{ şi } J \text{ daţi;} \\ ST\,(K,J), \text{ în caz contrar.} \end{cases}$$

5. Subprogram de calcul al mărimilor $X(S)$

$$X(1) = IN\ (1)$$

$$X(S) = \Sigma C\ (R,S) + IN\ (S)\ S \geqslant 2$$

în care

$$C\,(S,R) = \begin{cases} X(S), \text{ dacă pentru } S \text{ şi } R \text{ daţi există } STD\ (S,R) = 1; \\ STD\ (S,R), \text{ în caz contrar.} \end{cases}$$

6. Subprogram de calcul al probabilităţilor condiţionate $f_{i,\bar{j}}$, notate aici cu $F\ (L)$. Probabilităţile $F(L)$ sînt date de algoritmul:

$$F(L) = \begin{cases} 0, \text{ dacă există } S: EN\ (S) = 1 \text{ şi } X\ (S) > 0; \\ 1, \text{ în caz contrar.} \end{cases}$$

7. Subprogram de calcul al membrilor stîng şi drept din inegalitatea (3).

8. Subprogram de calcul al membrilor din partea dreaptă a relaţiilor (6), (7) şi (8).

9. Subprogram de calcul al limitelor superioare ale probabilităţilor de bună funcţionare, conform relaţiei (5).

Schema logică de calcul pentru aceste subprograme este dată în figura 1.

## Concluzii

Prezenta lucrare demonstrează existenţa posibilităţii exprimării unor cerinţe calitative de SF pentru subansamblurile unor structuri, cînd se impune un anumit nivel de SF.

Avînd în vedere complexitatea calculului, lucrarea a rezolvat şi problema obţinerii soluţiei cu ajutorul calculatoarelor electronice.

## ANEXĂ

### Structuri energetice generale

Considerăm că este necesar să se analizeze cazurile particulare (fig. 2 şi 3), frecvent întîlnite în cazul sistemelor energetice [2].

Schemele de SF corespunzătoare acestor structuri sînt cele indicate în figura 4 (structură-serie) pentru schema din figura 2 şi în figura 5 (structură combinată) pentru schema din figura 3. Din aceste motive, se vor analiza mai întîi aceste structuri, pentru a stabili unele formule de calcul simplificate, care apoi se vor aplica structurilor energetice din figurile 2 şi 3.

a) *Structura-serie* (fig. 4)

Problema enunţată se reduce, în cazul structurii-serie, la rezolvarea sistemului de inecuaţii :

$$\prod_{i=1}^{n} p_i \geqslant P(t) \qquad (12)$$

$$a_i \leqslant p_i \leqslant b_i, \; i = 1, \ldots, n$$

deoarece pentru această structură probabilităţile $f_{i,\bar{j}} = 0$, cu excepţia lui $f_{1,2,\ldots\ldots,n} = 1$.

La fel ca în paragraful precedent, relaţiile (2)–(4) devin :

$$P(t) \leqslant \prod_{i=1}^{n} b_i \qquad (13)$$

$$\prod_{i=1}^{n} a_i \leqslant P(t) \leqslant \prod_{i=1}^{n} b_i \qquad (14)$$

$$p_k \geqslant p^k_{inf\,s} \qquad (15)$$

Fig. 1

unde $p^k_{infs}$ sînt date în prima parte a tabelului 1.

În ipoteza repartiţiei exponenţial negative*) pentru procesul de apariţie a defecţiunilor, relaţiile (13)–(15) devin :

$$\sum_{i=1}^{n} \lambda^i_{min} \leqslant -\frac{1}{t} \ln P(t) \qquad (16)$$

$$\sum_{i=1}^{n} \lambda^i_{min} \leqslant -\frac{1}{t} \ln P(t) \leqslant \sum_{i=1}^{n} \lambda^i_{max} \qquad (17)$$

$$\lambda_j \leqslant \lambda^j_{sup\,s} \qquad (18)$$

unde valorile $\lambda^j_{sup\,s}$ sînt date în ultima

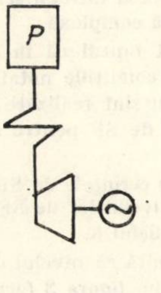



Fig. 2

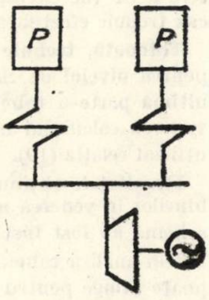



Fig. 3

*) $(p_j = exp\,(-\lambda_j\, t)$

parte a tabelului 1 şi unde :

$\lambda_j$ este intensitatea defecţiunilor subansamblului $j$ ;

$\lambda^j_{min}$ (respectiv $\lambda^j_{max}$) – limita inferioară (superioară) a intensităţii defecţiunilor subansamblului $j$.

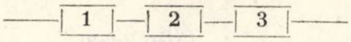



Fig. 4

În cazul în care condiţiile din ultima parte a tabelului 1 nu sînt îndeplinite, se poate utiliza relaţia :

$$\lambda^j_{sup} = \lambda^j_{min} + \Delta\lambda^j_{min} \qquad (19)$$

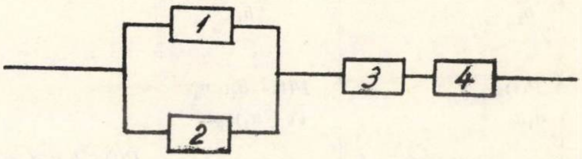



Fig. 5

unde

$$\Delta\lambda^j_{min} = \frac{-\dfrac{1}{t}\ln P(t) - \sum\limits_{i=1}^{n} \lambda^i_{min}}{\sum\limits_{i=1}^{n} (\lambda^i_{max} - \lambda^i_{min})} (\lambda^j_{max} - \lambda^j_{min})$$

b) ***Structura combinată*** (fig. 5)

Problema enunţată în cazul general constă în rezolvarea sistemelor de inecuaţii :

$$p_3\, p_4\, (p_1 + p_2 - p_1 p_2) \geqslant P(t)$$

$$a_i \leqslant p_i \leqslant b_i \quad i = 1, \ldots, 4 \qquad (20)$$

deoarece pentru această structură probabilităţile $f_{i\bar{j}}$, au valorile date în tabelul 2.

Similar cu cele expuse în paragraful 1, rezultă că condiţia de compatibilitate a problemei enunţate este :

$$P(t) \leqslant b_3\, b_4\, (b_1 + b_2 - b_1\, b_2) \qquad (21)$$

Pe de altă parte, în cazul în care condiţia (21) este adevărată, precum şi dacă relaţia :

$$a_3 a_4\, (a_1 + a_2 - a_1\, a_2) \leqslant P(t) \leqslant b_3 b_4\, (b_1 + b_2 - b_1 b_2) \qquad (22)$$

este îndeplinită, atunci pentru fiecare subansamblu $k$ al schemei soluţia problemei este :

$$p_k \geqslant p^k_{inf}, \; k = 1, \ldots, 4 \qquad (23)$$

unde $p^k_{inf}$ sînt date în partea centrală a tabelului 1.

### Exemplu

Se va analiza nivelul de SF cerut pe subansambluri pentru două scheme clasice (fig. 2 şi 3). Aşa cum s-a văzut, schema din figura 4 corespunde cazului analizat în paragraful *a*, iar cea din figura 5, cazului analizat în paragraful *b*.

În vederea analizei, conform metodologiei prezentate anterior, s-au determinat, pe baza datelor din literatura de specialitate [2], [3], [4], nivelurile minime şi maxime de SF cunoscute pe plan mondial, pentru subansamblurile ce intră în aceste scheme :

$\lambda^{cazan}_{min} = 0{,}541 \times 10^{-3}$ 1/h ; $\lambda^{cazan}_{max} = 0{,}66 \times 10^{-3}$ 1/h ;

$\lambda^{turbină}_{min} = 0{,}0773 \times 10^{-3}$ 1/h ; $\lambda^{turbină}_{max} = 0{,}7 \times 10^{-3}$ 1/h ;

$\lambda^{generator}_{min} = 0{,}011 \times 10^{-3}$ 1/h ; $\lambda^{generator}_{max} = 0{,}0257 \times 10^{-3}$ 1/h ;

*Tabelul 1*

| K | Figura 4: $P^k_{inf\ s}$ | Figura 4: Condiția | Figura 5: $P^k_{inf}$ | Figura 5: Condiția | Figura 4, reprezentare exponențială: $\lambda^j_{sup\ s}$ | Figura 4, reprezentare exponențială: Condiția | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $\frac{P(t)}{a_2a_3}$ | $P(t) \leqslant a_2a_3b_1$ | $\frac{P(t)-a_2a_3a_4}{(1-a_2)a_3a_4}$ | $P(t) \leqslant a_2a_3a_4 + b_1a_3a_4 - b_1a_2a_3a_4$ | $-\frac{1}{t}\ln P(t) - \lambda^2_{max} - \lambda^3_{max}$ | $-\frac{1}{t}\ln P(t) \geqslant \lambda^1_{min} + \lambda^2_{max} + \lambda^3_{max}$ | Dacă condiția *1* este îndeplinită, în cazurile în care condițiile *1–4* sînt îndeplinite în parte sau în totalitate |
| | $a_1$ | | $a_1$ | | $\lambda^1_{max}$ | | Dacă condiția *1* nu este îndeplinită, conform celor de mai sus |
| | $b_1$ | | $b_1$ | | $\lambda^1_{min}$ | | Dacă condițiile *1–4* nu sînt îndeplinite |
| 2 | $\frac{P(t)}{a_1a_3}$ | $P(t) \leqslant a_1a_3b_2$ | $\frac{P(t)-a_1a_3a_4}{(1-a_1)a_3a_4}$ | $P(t) \leqslant b_2a_3a_4 + a_1(1-b_2)a_3a_4$ | $-\frac{1}{t}\ln P(t) - \lambda^1_{max} - \lambda^3_{max}$ | $-\frac{1}{t}\ln P(t) \geqslant \lambda^2_{min} + \lambda^1_{max} + \lambda^3_{max}$ | Dacă condiția *2* este îndeplinită în cazurile în care condițiile *1–4* sînt îndeplinite în parte sau în totalitate |
| | $a_2$ | | $a_2$ | | $\lambda^2_{max}$ | | Dacă condiția *2* nu este îndeplinită, conform celor de mai sus |
| | $b_2$ | | $b_2$ | | $\lambda^2_{min}$ | | Dacă condițiile *1–4* nu sînt îndeplinite |
| 3 | $\frac{P(t)}{a_1a_2}$ | $P(t) \leqslant a_1a_2b_3$ | $\frac{P(t)}{a_2a_4+a_1(1-a_2)a_4}$ | $P(t) \leqslant a_2b_3a_4 + a_1(1-a_2)b_3a_4$ | $-\frac{1}{t}\ln P(t) - \lambda^1_{max} - \lambda^2_{max}$ | $-\frac{1}{t}\ln P(t) \geqslant \lambda^3_{min} + \lambda^1_{max} + \lambda^2_{mox}$ | Dacă condiția *3* este îndeplinită în cazurile în care condițiile *1–4* sînt îndeplinite în parte sau în totalitate |
| | $a_3$ | | $a_3$ | | $\lambda^3_{max}$ | | Dacă condiția *3* nu este îndeplinită, conform celor de mai sus |
| | $b_3$ | | $b_3$ | | $\lambda^3_{min}$ | | Dacă condițiile *1–4* nu sînt îndeplinite |
| 4 | | | $\frac{P(t)}{a_2a_3+a_1(1-a_2)a_3}$ | $P(t) \leqslant a_2a_3b_4 + a_1(1-a_2)a_3b_4$ | | | Dacă condiția *4* este îndeplinită în cazurile în care condițiile *1–4* sînt îndeplinite în parte sau în totalitate |
| | | | $a_4$ | | | | Dacă condiția *4* nu este îndeplinită, conform celor de mai sus |
| | | | $b_4$ | | | | Dacă condițiile *1–4* nu sînt îndeplinite |

*Tabelul 2*

| | $34$ | $\bar{3}4$ | $3\bar{4}$ | $\overline{34}$ |
|---|---|---|---|---|
| $12$ | 1 | 0 | 0 | 0 |
| $\bar{1}2$ | 1 | 0 | 0 | 0 |
| $1\bar{2}$ | 1 | 0 | 0 | 0 |
| $\overline{12}$ | 0 | 0 | 00 | 0 |

Pe baza considerațiilor din paragrafele *a* și *b*, precum și din tabelul 1, s-a rezolvat problema determinării nivelurilor minime de SF ale subansamblurilor (cazan, turbină, generator), în vederea obținerii pentru întreaga schemă a nivelurilor de SF : $P(t) = 0{,}5$ ; 0,7 și 0,9 pentru 1 000 ore de funcționare.*)

Din analiza efectuată s-a constatat că :

— pentru schema din figura 2 nivelul de SF de 0,7 nu poate fi atins și de aceea trebuie adoptate alte metode de creștere a SF, de exemplu rezervare prin dublarea subansamblului cu cea mai mică SF (cazanul), obținîndu-se schema din figura 3 ; de asemenea, nivelul de SF de 0,9 nu poate fi atins ;

— pentru schema din figura 3, nivelul de SF de 0,9 nu poate fi atins și de aceea trebuie adoptate alte metode de creștere a SF (de exemplu rezervarea întregii scheme) ; în acest caz trebuie efectuată o analiză complexă.

Totodată, trebuie semnalat faptul că în cazul figurii 2, pentru nivelul de SF de 0,5 condițiile notate cu *1*, *2*, *3* în ultima parte a tabelului 1 nu sînt realizate și de aceea, în vederea calculului nivelurilor de SF pentru ansambluri, s-a utilizat relația (19).

Rezultatele obținute pentru cerințele de SF ale subansamblurilor în vederea atingerii nivelurilor de SF admise pentru schemă au fost înscrise în tabelul 3.

Din analiza tabelului 3 rezultă că nivelul de SF de 0,7 se poate atinge pentru schema din figura 3 (aceasta reprezintă schema din figura 2, în care s-a rezervat elementul cu SF cea mai scăzută – în speță cazanul – cu aproximativ aceleași niveluri de SF pentru subansambluri cu care se atinge nivelul de SF de 0,5 pentru schema din figura 2).

*) S-a admis că repartiția defecțiunilor este exponențială [2].

Analiza schemei de automatizare a protecţiei şi a semnalizării cazanului CR 9.

*Tabelul 3*

| Nr. crt. | Denumirea subansamblului | $p = 0,7$ | $p = 0,5$ | |
|---|---|---|---|---|
| | | fig. 3 $\lambda_{max}$ | fig. 2 $(10^{-3})$ | fig. 3 1/h |
| 1 | cazan | 0,541 | 0,551 | 0.541 |
| 2 | turbină | 0,077 | 0,1293 | 0,7 |
| 3 | generator | 0,011 | 0,019 | 0.011 |

Analiza se referă la partea de automatizare a instalaţiei de protecţie-semnalizare elaborată în [7]. Din analiza efectuată în [8] a rezultat că aplicînd metodologia prezentată mai sus, pentru atingerea nivelului de SF de 0,9, pentru 1 000 ore de funcţionare, nivelurile de SF corespunzătoare componentelor schemei sînt cele indicate în [4].

Nivelul de SF de 0,9 este un nivel scăzut pentru o schemă de acest tip ; de aceea se pune problema creşterii SF.

Creşterea siguranţei în funcţionare se poate realiza pe două căi :

— rezervarea unor părţi componente ale instalaţiei existente ;

— utilizarea unor componente mai sigure (de exemplu, introducerea comutaţiei statice) sau modificarea structurală a schemei, pe baza analizei programului de funcţionare şi a sintezei unei scheme sigure.

De remarcat că în [8], studiindu-se efectul rezervării unor părţi din această instalaţie (de exemplu circuitul de comandă robinet blocare gaz), s-a constatat că prin dublarea circuitului de blocare se realizează o creştere a SF cu 27 %, iar prin triplare, cu 32 %.

Totodată, în [9], analizîndu-se aspectele economice ale introducerii dublării sau triplării unor părţi din această instalaţie, s-a căutat o soluţie optimă în funcţie de :

— costul soluţiei ;

— siguranţa de funcţionare ;

— efectele economice rezultate în urma creşterii SF, ajungîndu-se la concluzia că soluţia cu rezervare prin triplare este optimă.

**Bibliografie**


[1] D i a t c u, E. *Consideraţii asupra unor probleme fundamentale ale studiului ştiinţific al sistemelor informaţionale. Probleme de automatizare*, VI. Ed. Acad. R.S.R., Bucureşti, 1969, p. 79–83.

[2] N i t u, V., A l b e r t, H. şi B r ă d e s c u, M. *Metodă generală de studiu a siguranţei funcţionării complexelor energetice.* În : Studii şi cercetări de energetică şi electrotehnică, nr. 2, 1968, p. 259–282.

[3] S i e m a s z k o, Z. A. *Reliability of an Electronic Process Control System.* În : Instrument Practice, oct., 1964.

[4] V o l p i n, A. G. *Rasciot nadejnosti radioperedatcika.* Izd. Sveazi, Moscova, 1967.

[5] * * * *Metodologie de analiză şi calcul al siguranţei în funcţionare a sistemelor în faza de elaborare şi proiectare.* Studiu I.P.A., B 259, 1970.

[6] B r i l l, A. şi D o b r e s c u, D. *Studiul unor structuri de fiabilitate (cu aplicaţie la proiectarea schemelor electrice ale maşinilor de ridicat şi transportat).* Lucrările celei de-a VII-a sesiuni de comunicări tehnico-ştiinţifice, secţia I — Conversia energiei electrice, Maşini electrice şi transformatoare. Bucureşti, 1970, p. 1–16.

[7] * * * *Proiect tehnic CR 9–CR 12* (proiect I.P.A. 362 256).

[8] * * * *Creşterea siguranţei în funcţionare a pieselor radio, a dispozitivelor semiconductoare şi a aparatelor electronice. Aparatura de automatizare.* Studiu I.P.A., vol. 4., B 260, 1968.

[9] * * * *Creşterea siguranţei în funcţionare a pieselor radio, a dispozitivelor semiconductoare şi a aparatelor electronice. Aparatura de automatizare.* Studiu I.P.A., vol. 9, Analiza eficienţei economice, B 260, 1970.



**(Articol intrat în redacţie la 26 mai 1971)**


# Domeniul optim de pH al schimbătorilor de ioni


Ing. **L. Stanisavlievici** *)


Caracteristica principală, care are importanţă deosebită la proiectarea şi exploatarea instalaţiilor de demineralizare, este capacitatea schimbătorilor de ioni. Documentarea tehnică menţionează întotdeauna atît capacitatea totală, cît şi capacitatea volumică utilă. De obicei numai aceasta din urmă se ia în consideraţie ca valoare practică, cealaltă apărînd doar ca valoare teoretică. Totuşi această concepţie nu este în totalitatea ei corectă.

Să precizăm în prealabil aceste definiţii.

*Capacitatea totală* (*C*), exprimată în mval/g, în stare uscată, sau în mval/ml, în stare umedă, este capacitatea obţinută prin saturarea tuturor grupurilor active ale schimbătorului. Ea s-ar putea numi şi capacitate teoretică, mai ales în cazul schimbătorilor anionici, cînd se poate calcula din conţinutul total în azot al schimbătorului. Determinarea ei — în condiţii statice — corespunde neutralizării de către o bază tare (NaOH) sau de către un acid tare (HCl), a unui acid tare (schimbător sulfonic), a unui acid slab (schimbători carboxilici), respectiv a unei baze de tărie mijlocie (schimbător puternic bazic) sau a unei baze slabe (schimbător mediu bazic). Se pot obţine curbe de titrare avînd caracteristicile cunoscute : punct iniţial, salt de titrare, punct de echivalenţă.

Pentru practică este importantă mai ales *capacitatea volumică utilă* (*CVU*), exprimată în mval/ml, în stare umedă. Ea reprezintă partea din capacitatea totală solicitată în condiţiile operaţionale şi corespunde procesului dinamic de saturaţie a grupurilor active ale schimbătorului, pentru anumiţi ioni sub influenţa diferiţilor factori, unii generali, alţii specifici, care îngrădesc de regulă sau, mai rar, favorizează solicitarea grupurilor active. Pentru comparare, capacitatea volumică utilă se determină în condiţii dinamice, standard, în laborator ; influenţa factorilor interferenţi este precizată apoi în documentaţia anexă.

*) Luis Stanisavlievici este consilier la ICENERG.

Limitările multiple care stînjenesc procesul dinamic de saturaţie a grupurilor active şi nivelul predeterminat, pentru exploatare, al acestui proces sînt cauzele diferenţei ce există între valorile capacităţii totale şi cele ale capacităţii volumice utile. Tabelul 1 dă aceste valori, pentru principalele tipuri de schimbători, de calitate superioară; valorile pentru *CVU* sînt cele obţinute în condiţii-standard.

*Tabelul 1*

**Capacitatea totală şi capacitatea volumică utilă a principalilor tipuri de schimbători de ioni**

| Tipul de schimbători | | Capacitatea totală (*C*), mval/ml, umed | *CVU*, mval/ml, umed | $\frac{CVU}{CT} \cdot 100$ |
|---|---|---|---|---|
| Cationici | sulfonic | 1,7–2,2 | HCl 1,1–1,85<br>$H_2SO_4$ 1–1,80 | 55–85<br>50–83 |
| | carboxilic | 3,8–4,5 | 2,5–3,6 | 65–94 |
| Anionici | puternic bazici | 1,2–1,6 | 0,6–0,8 | 41–67 |
| | mediu bazici | 1,5–2,2 | 1,1–2,15 | 52–97 |

Din tabelul 1 rezultă că gradul de solicitare în exploatare a grupurilor active disponibile ale unui schimbător de ioni, exprimat prin raportul *CVU*/*CT*, este destul de variabil. El depinde, după cum se ştie, de condiţiile specifice de lucru din practică.

Pentru schimbătorii cu funcţiuni „tari", acest raport are valori mai mici decît pentru schimbătorii cu funcţiuni „slabe"; la aceştia din urmă, în condiţii favorabile de lucru, aproape întreaga capacitate poate fi disponibilă pentru schimbul ionic în practica tratării apei.

*

Solicitarea cît mai completă a capacităţii unui schimbător în condiţii de lucru, adică sub influenţa diferiţilor factori care intervin, impune ca şi *p*H-ul mediului să aibă anumite valori optime, deoarece ionizarea totală a grupurilor active depinde de această valoare şi se reflectă în capacitatea de schimb efectivă. Acest lucru este important mai ales la schimbătorii cu funcţiuni „slabe"; este însă valabil şi pentru cei cu funcţiuni „tari", cu toate că documentaţia tehnică nu precizează întotdeauna acest lucru.

Pe baza considerentelor teoretice se va încerca stabilirea domeniului optim de p*H* pentru tipurile obişnuite de schimbători şi să deducem consecinţele care rezultă pentru practică.

În tabelul 2 sînt prezentate unele caracteristici fizice ale schimbătorilor, necesare scopului propus.

În ceea ce priveşte grupurile funcţionale, schimbătorii, mai ales cei anionici, se consideră în practică monofuncţionali dacă conţin circa 90% dintr-un grup funcţional dat.

Constanta de ionizare, la fel ca la acizi şi baze, caracterizează forţa ionică a unui schimbător. Din acest punct de vedere, schimbătorul sulfonic poate fi considerat drept un „acid" tare, ceilalţi schimbători drept „acizi", respectiv „baze" de tărie mijlocie sau slabă.

Metoda neutralizării prin titrare, aplicată în acelaşi mod ca la acizi sau baze în soluţie, permite obţinerea curbelor de titrare ale schimbătorilor de ioni. Din caracteristicile acestor curbe se pot stabili apoi relaţii între capacitatea totală şi valoarea *p*H, utilă în practică.

Folosind datele caracteristice din tabelele 1 şi 2, se pot construi curbe de titrare tip, pentru categoriile principale de schimbători de ioni.

**Schimbător cationic sulfonic**

Neutralizarea lui cu o soluţie de NaOH corespunde titrării unui acid tare cu o bază tare. Schimbătorul are toate grupurile active trecute în forma ionică $H^+$, printr-o regenerare prealabilă intensă cu HCl.

*La începutul titrării*, cînd este prezent numai „acidul", concentraţia $[H^+]$ este determinată de următoarele valori (luate ca medii, conform tabelelor 1 şi 2):

*Tabelul 2*

**Unele caracteristici fizice ale diferitelor tipuri de schimbători**

| Tipul schimbătorului | | Grup funcţional | Constanta de ionizare *K* la temperatură normală | *p*K | *p*H de lucru recomandat |
|---|---|---|---|---|---|
| Puternic acid | sulfonic | $-HSO_3$ | $>10^{-1}$ | <1 | ⩾1 |
| Mediu acizi | fosfinic | $-H_2PO_3$ | $K_1$ $10^{-2}-10^{-3}$<br>$K_2$ $10^{-7}-10^{-8}$ | 2–3<br>7–8 | |
| | carboxilic | $-HCOO$ | $10^{-4}-10^{-6}$ | 4–6 | >4; ⩾5 |
| Slab acid | fenolic | $-HO$ | $10^{-9}-10^{-10}$ | 9–10 | |
| Puternic bazici | Tip I | $-N\equiv$ | $<10^{-2}$ | >2 | >5 |
| | Tip II | $-N\equiv$ | $10^{-2}$ | 2 | >5 |
| Mediu bazici | monofuncţional | $\equiv N$ | $10^{-4}-10^{-5}$ | 4–5 | <7 |
| | polifuncţional | $-NH_2$<br>$=NH^2$<br>$\equiv N$ | $10^{-6}-10^{-8}$ | 6–8 | <7 |
| Slab bazic | monofuncţional | $-NH_2$ | $10^{-9}-10^{-10}$ | 9–10 | <5 |

— constanta de ionizare $K = 2 \cdot 10^{-1}$;

— concentrația acidului, corespunzînd potențial capacității sale totale $C = 2$ mval/ml, umed, respectiv $2 \cdot 10^{-3}$ val.

Pentru simplificare, concentrația ionilor hidrogen se exprimă prin $[H^+]$, și nu prin $[H_3O^+]$. Atunci:

$$[H^+] = 2 \cdot 10^{-3} \text{ val.},$$

$$\text{iar } pH = 2,7.$$

*Punctul de echivalență* corespunde titrării complete a „acidului" și este situat practic în domeniul $pH$ neutru ($\cong 7$).

*Saltul titrării.* Înainte de neutralizare prezența unei cantități foarte mici de „acid" rămas neneutralizat, de pildă corespunzător la 0,02 ml HCl 1 N, respectiv $2 \cdot 10^{-5}$ val., va determina o reacție net acidă. Concentrația ionilor de hidrogen este deci:

$$[H^+] = 2 \cdot 10^{-5} \text{ val.}$$

$$\text{iar } pH = 4,7.$$

După neutralizare un exces similar de soluție NaOH 1 N, va determina un $pOH = 4,7$, respectiv $pH = 9,3$.

Saltul titrării are loc deci de la $pH = 4,7$ la $pH = 9,3$.

Punctul curbei de titrare corespunzînd neutralizării a *jumătate din cantitatea de acid prezent*, adică la $\dfrac{2 \cdot 10^{-3}}{2} = 10^{-3}$ val., determină:

$$[H^+] = 10^{-3} \text{ val.},$$

$$\text{iar } pH = 3.$$

Un *exces de bază*, de exemplu de 0,6 ml NaOH 1N, corespunzător la $0,6 \cdot 10^{-3}$ val., determină o concentrație de ioni $OH^-$ de:

$$[OH^-] = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ val.}$$

și un $pOH = 3,2$, respectiv $pH = 10,8$.

Cu aceste date se poate construi curba de titrare a unui schimbător cationic sulfonic, de calitate standard. Ea este dată în figura 1, *a*.

**Schimbător cationic carboxilic**

Constanta de ionizare este, conform tabelului 2, $K = 10^{-4}$—$10^{-6}$; neutralizarea lui cu o soluție de NaOH corespunde titrării unui acid slab cu o bază tare. Schimbătorul trebuie să aibă toate grupurile active trecute în forma ionică $H^+$, printr-o regenerare intensă cu HCl.

*La începutul titrării*, cînd este prezent numai „acidul", concentrația ionilor de hidrogen va fi:

$$[H^+] \cong \sqrt{K \cdot C} \text{ val.},$$

în care

$K = 10^{-5}$ (media valorilor indicate în tabelul 2);

$C = 4,15$ mval/ml, umed, respectiv $4,15 \cdot 10^{-3}$ val. (media valorilor date în tabelul 1). Atunci:

$$[H^+] \cong \sqrt{10^{-5} \cdot 4,15 \cdot 10^{-3}} \cong 2 \cdot 10^{-4} \text{ val.},$$

iar $pH = 3,7$.

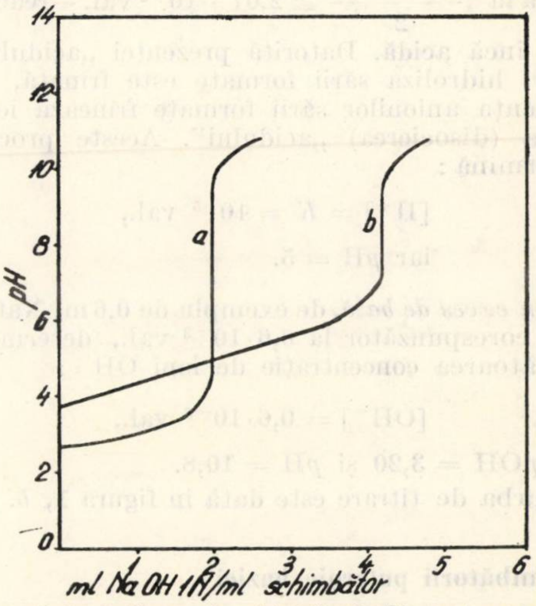



Fig. 1. Curbe de titrare ale schimbătorilor de ioni cationici: *a* – schimbător sulfonic; *b* – schimbător carboxilic.

*Punctul de echivalență* corespunde titrării complete a „acidului" și este situat în domeniul slab alcalin, din cauza hidrolizei sării care a luat naștere prin reacția de neutralizare și care dă ioni $OH^-$. În acest caz punctul de echivalență se determină în modul cunoscut, din constanta de hidroliză $K_h$ a produsului format și din concentrația „acidului":

$$K_h = \frac{K H_2O}{K} = \frac{10^{-14}}{10^{-5}} = 10^{-9}$$

iar:

$$[OH^-] \cong \sqrt{K_h \cdot C} \cong \sqrt{10^{-9} \cdot 4,15 \cdot 10^{-3}} \cong$$

$$\cong 2 \cdot 10^{-6} \text{ val.},$$

de unde: $pOH = 5,7$, iar $pH = 8,3$.

*Saltul titrării.* Se admite că titrarea se execută cu același grad de precizie ca și în cazul precedent; din cauza hidrolizei care are loc, prezența unei cantități de acid liber de $2 \cdot 10^{-5}$ val., nu conferă soluției un caracter acid. Concentrația ionilor $H^+$ în acest caz este:

$$[H^+] = \frac{2 \cdot 10^{-5}}{4,11 \cdot 10^{-3}} \cdot 10^{-5} \cong 0,48 \cdot 10^{-7} \text{ val.},$$

iar $pH = 7,3$.

În mod similar se stabilește că, la un exces de bază de $2 \cdot 10^{-5}$ val., reacția soluției corespunde la $pOH = 4,7$ și $pH = 9,3$ (hidroliza

nu se mai produce, sarea fiind complet ionizată).

Saltul titrării are loc deci de la $pH = 7,3$ la $pH = 9,3$.

În punctul curbei de titrare corespunzînd neutralizării a *jumătate din acidul* prezent — adică la $\frac{4,15 \cdot 10^{-3}}{2} \cong 2,07 \cdot 10^{-3}$ val. —reacţia este încă acidă. Datorită prezenţei „acidului" liber, hidroliza sării formate este frînată, iar prezenţa anionilor sării formate frînează ionizarea (disocierea) „acidului". Aceste procese determină :

$$[H^+] = K = 10^{-5} \text{ val.},$$

$$\text{iar } pH = 5.$$

*Un exces de bază*, de exemplu de 0,6 ml NaOH 1N, corespunzător la $0,6 \cdot 10^{-3}$ val., determină următoarea concentraţie de ioni $OH^-$ :

$$[OH^-] = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ val.},$$

iar $pOH = 3,20$ şi $pH = 10,8$.

Curba de titrare este dată în figura 1, *b*.

## Schimbătorii puternic bazici

Ei pot fi consideraţi ca „baze" de tărie mijlocie, avînd constanta de ionizare $K \leqslant 2$ (tabelul 2). Neutralizarea lor corespunde deci titrării unei baze de tărie mijlocie cu un acid tare.

Schimbătorul trebuie în prealabil regenerat intens cu NaOH, pentru ca toate grupurile sale active să fie trecute sub formă ionică $OH^-$.

Pentru exemplificare, se ia un schimbător avînd $K = 10^{-2}$ şi $C = 1,4$ mval/ml, umed, respectiv $1,4 \cdot 10^{-3}$ val.

*La începutul titrării* este prezentă numai „baza", iar concentraţia ionilor $OH^-$ va fi :

$$[OH^-] \cong \sqrt{10^{-2} \cdot 1,4 \cdot 10^{-3}} = 3,7 \cdot 10^{-3} \text{ val.},$$

$pOH = 2,4$ şi $pH = 11,6$.

*Punctul de echivalenţă*, corespunzător titrării complete a „bazei", este situat în domeniul aproximativ neutru, din cauză că apare o oarecare hidroliză a produsului reacţiei de neutralizare care dă ioni $H^+$. În acest caz :

$$K_h = \frac{10^{-14}}{10^{-2}} = 10^{-12}$$

deci :

$$[H^+] \cong \sqrt{10^{-12} \cdot 1,4 \cdot 10^{-3}} \cong 3,7 \cdot 10^{-8} \text{ val.},$$

iar $pH = 7,4$.

*Saltul titrării*. Imediat înainte de neutralizare, care se execută cu aceeaşi precizie ca în exemplele precedente, cantitatea de „bază" încă liberă corespunde la $2 \cdot 10^{-5}$ val. Concentraţia ionilor $OH^-$ va fi :

$$[OH^-] = \frac{2 \cdot 10^{-5}}{1,38 \cdot 10^{-3}} \cdot 10^{-2} = 1,45 \cdot 10^{-4} \text{ val.},$$

iar $pOH = 3,85$ şi $pH = 10,15$.

În prezenţa unui exces de acid de $2 \cdot 10^{-5}$ val., apare un $pH = 4,7$.

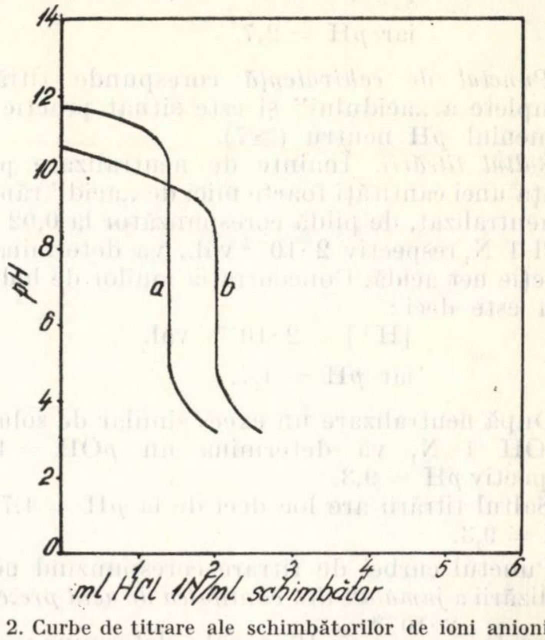



Fig. 2. Curbe de titrare ale schimbătorilor de ioni anionici : *a* — schimbător puternic bazic; *b* — schimbător mediu bazic.

Saltul titrării are loc de la $pH = 10,15$ la $pH = 4,7$.

În punctul curbei de titrare corespunzînd neutralizării a *jumătate din baza* prezentă, adică la $\frac{1,4 \cdot 10^{-3}}{2} = 0,7 \cdot 10^{-3}$ val., concentraţia ionilor $OH^-$ este :

$$[OH^-] \cong \sqrt{10^{-2} \cdot 0,7 \cdot 10^{-3}} \cong 2,65 \cdot 10^{-3} \text{ val.},$$

iar $pOH = 2,6$ şi $pH = 11,4$.

La un *exces de acid* de 0,6 ml HCl 1N, corespunzător la $0,6 \cdot 10^{-3}$ val., concentraţia ionilor $H^+$ este :

$$[H^+] = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ val.},$$

iar $pH = 3,2$.

Curba de titrare este dată în figura 2, *a*.

## Schimbătorii mediu bazici

Cei folosiţi în mod curent în tehnica tratării apei sînt fie monofuncţionali (în sensul celor precizate mai înainte), avînd $K = 10^{-4} - 10^{-5}$, fie polifuncţionali, avînd $K = 10^{-6} - 10^{-8}$. Schimbătorii slab bazici, monofuncţionali, nu se mai folosesc în acest domeniu.

Curba de titrare se poate construi teoretic în mod similar ca în cazul schimbătorului puternic bazic, fiind vorba însă, de data aceasta, de o „bază" slabă, neutralizată cu un acid tare.

Pentru exemplificare, se consideră cazul unui schimbător mediu bazic, monofuncţional, avînd constanta de hidroliză $K = 10^{-4}$ şi o capacitate totală $C = 2$ mval/ml, umed, respectiv $2 \cdot 10^{-3}$ val (tabelele 1 şi 2).

*La începutul titrării*, fiind prezentă numai „baza", concentraţia ionilor $OH^-$ va fi:

$$[OH^-] \cong \sqrt{10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^{-3}} \cong 4{,}47 \cdot 10^{-4} \text{ val.},$$

$pOH = 3{,}3$ şi $pH = 10{,}7$.

*Punctul de echivalenţă*, corespunzînd titrării complete a „bazei", este situat în domeniul slab acid, din cauza hidrolizei produsului reacţiei de neutralizare, care dă ioni $H^+$.

Constanta hidroliză este:

$$K_h = \frac{10^{-14}}{10^{-4}} = 10^{-10}$$

iar $[H^+] \cong \sqrt{10^{-10} \cdot 2 \cdot 10^{-3}} \cong 4{,}47 \cdot 10^{-7}$ val., de unde $pH = 6{,}3$.

*Saltul titrării.* Imediat înainte de neutralizare, cînd a rămas o cantitate de bază neneutralizată — în cantitate corespunzătoare la $2 \cdot 10^{-5}$ val. — concentraţia ionilor $OH^-$ va fi:

$$[OH^-] = \frac{2 \cdot 10^{-5}}{1{,}98 \cdot 10^{-3}} \cdot 10^{-4} \cong 10^{-6} \text{ val.},$$

iar $pOH = 6$ şi $pH = 8$.

În mod similar, la un exces corespunzător de acid de $2 \cdot 10^{-5}$ val., va apărea un $pH = 4{,}7$.

Saltul titrării are loc de la $pH = 8$ la $pH = 4{,}7$.

În punctul în care „baza" a fost *neutralizată pe jumătate*, echivalent cu: $\frac{2 \cdot 10^{-3}}{2} = 10^{-3}$ val., concentraţia ionilor $OH^-$ va fi:

$$OH^- = K = 10^{-4} \text{ val.},$$

iar $pOH = 4$ şi $pH = 10$.

La un *exces de acid* de 0,6 ml HCl 1N/ml corespunzător la $0{,}6 \cdot 10^{-3}$ val., concentraţia ionilor $H^+$ fiind tot de $0{,}6 \cdot 10^{-3}$ val., $pH$-ul soluţiei va fi de 3,2.

Cu aceste elemente se poate construi curba de titrare, a cărei alură este dată în figura 2, *b*.

★

Capacitatea totală a schimbătorilor nu poate fi realizată în condiţiile din practică, deoarece numeroşi factori de natură diferită îşi exercită interferenţa. Cei mai importanţi, generali şi specifici, dintre aceştia sînt: nivelul şi condiţiile de regenerare, afinitatea schimbătorului pentru diferiţi ioni, natura regenerantului, sarcina ionică, sarcina specifică volumică, temperatura. Capacitatea utilă volumică (*CVU*), realizabilă în condiţiile de exploatare, este însă dependentă şi de $pH$-ul mediului. Din curbele de titrare exemplificate rezultă că în domeniul saltului titrării se situează teoretic solicitarea tuturor grupurilor active ale schimbătorului. Acest domeniu are deci o importanţă mare pentru practică, el fiind un factor care determină realizarea unei *CVU* cît mai avantajoasă.

De asemenea $pH$-ul corespunzător „neutralizării" pe jumătate a schimbătorului dă indicaţii asupra posibilităţii eventuale de a lucra într-un domeniu de $pH$ diferit de acela al saltului titrării. Făcînd raportări la curbele-tip din figurile 1 şi 2, se constată următoarele:

*Schimbătorul carboxilic* prezintă saltul titrării la valori $pH$ de la 7,3 la 9,3. La $pH = 5$, abia jumătate din grupurile sale acide sînt neutralizate. Recomandarea ca $pH$-ul de lucru să fie mai mare de 4 sau de 5, pe care o menţionează documentaţiile tehnice respective, apare prin urmare ca nesatisfăcătoare.

Valorile $pH$ ale saltului titrării cuprind practic întreaga gamă de ape naturale, de suprafaţă şi de adîncime. La apele pretratate prin coagulare în mediu alcalin, se impune o supraveghere atentă, continuă, a $pH$-ului influentului în filtrul ionic carboxilic.

*Schimbătorul sulfonic* are saltul titrării mai mare, de la valori $pH$ 4,7 la 9,3; la $pH = 3$, jumătate din grupurile sale active sînt neutralizate. Recomandarea ca $pH$-ul de lucru să fie $\geqslant 1$ (tabelul 2), corespunzînd deci practic întregii scări de $pH$, se poate referi la stabilitatea schimbătorului faţă de reacţia mediului, dar nu asigură o folosire eficientă a grupurilor sale active.

Schimbătorul lucrează eficient în cazul tuturor apelor naturale, de adîncime sau de suprafaţă. După o pretratare alcalină se impune controlul $pH$-ului, care nu trebuie să depăşească valoarea 9,3.

*Schimbătorul mediu bazic* prezintă saltul titrării la valori $pH$ de la 8 la 4,7. La $pH = 10$, numai jumătate din grupurile sale active sînt neutralizate. Un $pH < 7$, recomandat de documentaţia tehnică, corespunde caracteristicilor specifice ale acestui schimbător; recomandarea trebuie completată însă şi cu valoarea minimă $pH$, de exemplu în cazul de faţă $\cong 4{,}5$.

*Schimbătorul puternic bazic* prezintă saltul titrării la valori $pH$ de la 10,1 la 4,7; la $pH = 11{,}4$, jumătate din grupurile sale active sînt neutralizate.

În cazul demineralizării apei pentru alimentarea cazanelor (sau în alte scopuri), chiar cu o pretratare alcalină, nu apar probleme în ceea ce priveşte eficienţa schimbătorului, datorate valorii $pH$ a mediului, dar pot apărea probleme legate de „scăpările" de silice.

Se va preciza modul în care se reflectă această situaţie asupra schemelor de demineralizare aplicate apelor cu salinitate ridicată.

Partea de bază a liniei de demineralizare în acest caz este constituită din doi schimbători cationici, puternic acizi şi din doi schimbători anionici, unul mediu bazic şi celălalt puternic bazic. În general se foloseşte schema *a*) $H_1$ —

$H_2 - A_1 - A_2$, dat uneori și schema *b*) $H_1 - A_1 - H_2 - A_2$.

În prima schemă (*a*), cei doi schimbători cationici pot lucra înseriați; repartizarea sarcinii ionice se poate face selectiv sau nu [1], iar regenerarea, consecutivă, în sensul opus fluxului. Aceste posibilități reprezintă avantaje economice substanțiale ale procedeului convențional, iar calitatea afluentului este asigurată sau chiar îmbunătățită.

Treptele anionice, realizate în filtre separate sau în pat stratificat, pot lucra și ele înseriate, cu repartizarea selectivă a sarcinii ionice (cum este cazul de obicei) sau, la nevoie, neselectivă. Schimbătorul mediu bazic, cu un domeniu de *p*H mai restrîns, poate lucra în condiții mai stabile, deoarece este posibilă menținerea afluentului din $H_2$ la valori *p*H bine determinate.

În schema b), schimbătorii cationici lucrează și sînt regenerați în general separat: „echilibrarea" treptelor lor nu este posibilă, deoarece repartizarea unei părți a sarcinii ionice asupra lui $H_2$ are ca efect faptul că nu toți anionii tari ($Cl^-$, $So_4^{2-}$, $NO_3^-$) sînt reținuți de $A_1$. Aceștia rămîn în sarcina lui $A_2$, ceea ce în anumite situații poate fi neeconomic, respectiv nu asigură calitatea cerută afluentului din $A_2$.

Cuplarea rațională (înserierea) a treptelor anionice nu este realizabilă; schema aceasta necesită pentru supravegherea și asigurarea bunei funcționări controlul *p*H-ului în diversele trepte ale demineralizării [2].

★

Dacă nu este reținută totalitatea cationilor $Na^+$ de către schimbătorii cationici, afluentul din $A_2$ are un *p*H mărit, ceea ce determină creșterea „scăpărilor" de silice. Considerații teoretice și măsurători practice [3] permit să se stabilească raportul dintre alcalinitatea apei și conținutul ei în silice. În tabelul 3 sînt date valorile respective, pentru schimbătorii anionici puternic bazici, de tipul I și de tipul II, de calitate superioară.

La valori *p*H care se situează înspre limita domeniului de funcționare optimă a schimbătorului, „scăpările" de silice sînt și ele la limita admisă pentru o apă *intens* demineralizată (în cazul tipului I), respectiv depășesc cu mult aceste limite (în cazul tipului II). Pentru ape *convențional* demineralizate, nu există nici o contradicție între caracteristicile de calitate ale apei și domeniul optim de *p*H de funcționare a schimbătorului, stabilit pe baza curbei de titrare.

*Tabelul 3*

**Scăpările de silice și *p*H-ul afluentului schimbătorilor puternic bazici**

| *p*H | Scăpări de $SiO_2$, µg/l | |
|---|---|---|
| | Tip I | Tip II |
| 9 | 10～15 | 40～50 |
| 9,5 | 15 | 50 |
| 10 | 20 | 55 |
| 10,2 | 25 | 55～60 |

„Scăpările" de silice ale afluentului din $A_2$ pot fi provocate și de eluarea acidului silicic reținut în schimbător de către acizii organici mai „tari" din apă, pe care schimbătorul mediu bazic nu le poate reține din cauza bazicității sale prea slabe.

Controlul analitic, din care trebuie să facă parte și determinarea *p*H-ului, permite stabilirea cauzelor acestor „scăpări" de silice. Remediul poate fi, după caz: intensificarea pretratării apei pentru a elimina impuritățile organice, exploatarea rațională a schimbătorilor cationici, folosirea de schimbători macroporoși în filtrele $A_1$, folosirea unui pat mixt la finele liniei de demineralizare.

**Bibliografie**


[1] Stanisavlievici, L. *Arbeitsweise der Kationenstufe von Entsalzungsanlagen.* În curs de publicare în revista Wärme-München.

[2] Stanisavlievici, L. *Demineralizarea totală a apei. Principiile controlului în exploatare.* În: Energetica, 9, nr. 6, 1961.

[3] Arnold, K. H. și Martinola, Fr. *Der Kieselsäureschlupf in Entsalzungsanlagen.* VGB — Speisewassertagung, Essen, 1969.


**(Articol intrat în redacție la 26 februarie 1972)**

# Măsurarea deplasărilor mici cu traductoare diferenţiale tip transformator

Ing. D. Burdeţi *)

În Centrala termoelectrică Deva-Mintia, precum şi în alte centrale similare, pentru măsurări de debit, presiune, nivel, încovoiere ax, dilatări relative şi deplasare axială se folosesc diferite variante constructive ale traductoarelor diferenţiale tip transformator (TDT).

Alegerea variantelor constructive este determinată de destinaţia dispozitivelor, de cerinţele de adaptare a traductorului la celelalte elemente ale dispozitivului de măsurat şi de condiţiile tehnice referitoare la : precizie, sensibilitate, domeniu de măsurare şi condiţii de lucru. În articol vor fi prezentate traductoarele folosite la măsurarea deplasării axiale, a dilatărilor relative şi a încovoierii rotorului pentru turbinele K–200–130–1 şi altele similare.

### Deplasarea axială şi dilatările relative

Pentru măsurarea deplasării axiale şi a dilatărilor relative se folosesc TDT plate, cu circuit magnetic comun în formă de E (fig. 1). Pe miezul din mijloc este înfăşurată bobina primară, iar pe miezurile extreme, înfăşurările secundare, legate în opoziţie.

La această construcţie a circuitului magnetic fluxul se ramifică la stînga şi la dreapta, proporţional cu permeanţele din stînga şi dreapta, iar t.e.m. induse în înfăşurările secundare sînt proporţionale cu aceste fluxuri.

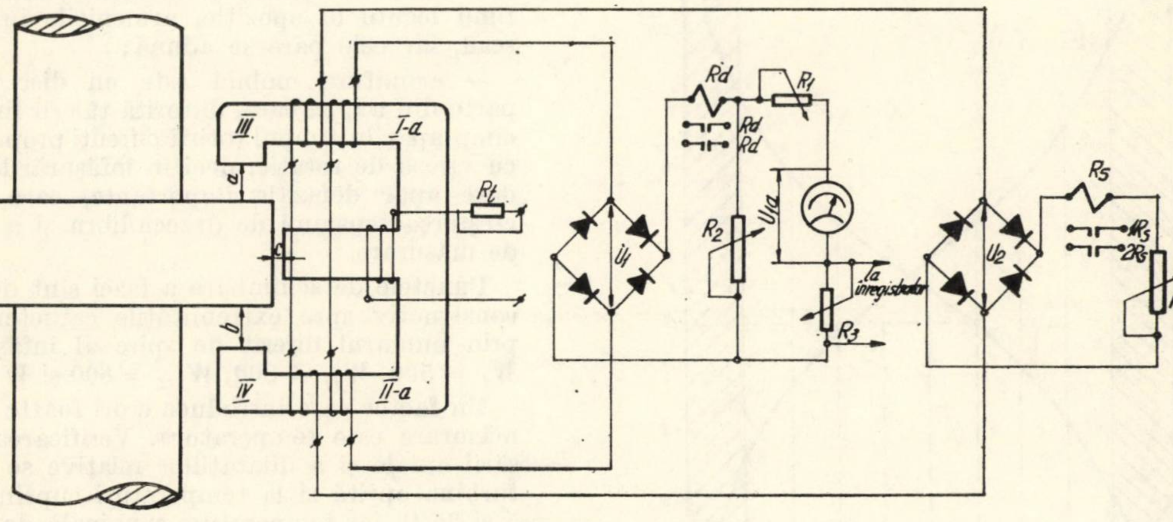



Fig. 1

---

*) Dumitru Burdeţi este inginer la Serviciul automatizări din IEC–Deva.

### Cîteva date de calcul

Pentru uşurinţa stabilirii relaţiilor de calcul necesare se alcătuieşte schema echivalentă a circuitului magnetic, similar cu o schemă electrică (fig. 2).

Sursa de tensiune magnetomotoare $F = I . W$ se reprezintă printr-un cerc, iar permeanţele (magnetice), prin dreptunghiuri.

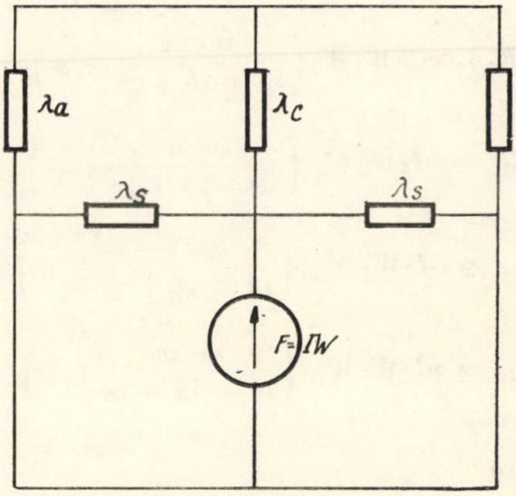



Fig. 2

Valoarea fluxului în miezul central $Ø$ se compune din fluxurile ce trec prin întrefierurile polilor $Ø_0$ şi din fluxurile de scăpări $Øs$.

$$Ø = Ø_0 + 2Øs.$$

$$Ø_0 = \sqrt{2} \cdot I \cdot W \frac{\lambda c\,(\lambda a + \lambda b)}{\lambda a + \lambda b + \lambda c}\,; \quad Øs = \sqrt{2}\, I \cdot W \cdot \lambda s,$$

în care

$\lambda a$, $\lambda b$ şi $\lambda c$ sînt permeanţele întrefierurilor $a$, $b$ şi $c$ ;

$\lambda s$ — permeanța raportată a fluxurilor de scăpări $\varnothing s$.

Fluxurile ce străbat permeanțele $\lambda a$ și $\lambda b$ vor fi :

$$\varnothing\lambda a = \varnothing 0 \frac{\lambda a}{\lambda a + \lambda b};\ \varnothing\lambda b = \varnothing 0 \frac{\lambda b}{\lambda a + \lambda b}$$

Tensiunile în înfășurările secundare vor fi date de relațiile :

$$E_I = \omega I \cdot W \cdot W_I \left( \frac{\lambda a \cdot \lambda c}{\lambda a + \lambda b + \lambda c} + \lambda s \right);$$

$$E_{II} = \omega I \cdot W \cdot W_{II} \left( \frac{\lambda b \cdot \lambda c}{\lambda a + \lambda b + \lambda c} + \lambda s \right);$$

$$E_{III} = \omega I \cdot W \cdot W_{III} \left( \frac{\lambda a \cdot \lambda c}{\lambda a + \lambda b + \lambda c} + \lambda s \right);$$

$$E_{IV} = \omega I \cdot W \cdot W_{IV} \left( \frac{\lambda b \cdot \lambda c}{\lambda a + \lambda b + \lambda c} + \lambda s \right),$$

în care

$W_{I-IV}$ este numărul de spire al înfășurărilor I—IV ;

$\omega$ —pulsația.

Calculul acestor traductoare, precum și diferite aspecte ale rezolvării unor probleme analoage sînt expuse în [2].

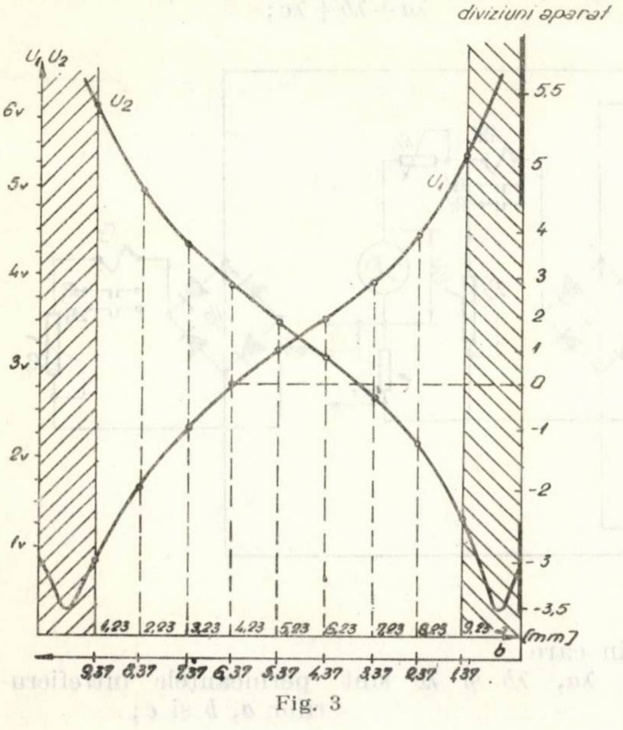



Fig. 3

**Domeniul de utilizare a caracteristicilor și erori de măsurare**

Traductorul are două circuite distincte, circuitul *1*, format din înfășurările *I*, *II*, și circuitul *2*, format din înfășurările *III*, *IV* (fig. 1).

Orice modificare a întrefierurilor *a* și *b* (*c* fiind constant) duce la creșterea tensiunii induse pe unul dintre circuite și la scăderea ei pe celălalt. Dependența acestor tensiuni de variația întrefierurilor este reprezentată în figura 3 (grafic întocmit după valorile reale obținute la verificarea traductorului CJP, turbina nr. 3, centrala Mintia — IEC Deva).

Din graficul prezentat rezultă că schimbarea fazei la circuitul *1* se produce pentru valorile întrefierurilor $a = 0{,}6$ (mm) și $b = 10$ (mm), aparatul indicînd o valoare reală a dilatării de $-3{,}5$ (mm). Dacă întrefierul *a* se micșorează în continuare, adică dilatarea reală crește, aparatul indicator va arăta o micșorare ; astfel, pentru $a = 0$, $b = 10{,}60$, aparatul indică o valoare de $-3$ (mm), deși dilatarea reală este de 4,23 (mm).

Domeniul de lucru al traductorului trebuie ales în așa fel, încît punctele de schimbare a fazei să fie mult depărtate, avînd în vedere și faptul că la asemenea traductoare tensiunea de dezechilibru în aceste puncte are o valoare apreciabilă din următoarele motive :

— simetria incompletă a celor două jumătăți ale circuitului magnetic, lucru ce duce la apariția unor decalaje de fază ;

— prezența pierderilor în fierul circuitului magnetic duce la distorsionarea curbei curentului în înfășurarea primară, la ieșirea înfășurărilor secundare apărînd t.e.m. care conțin, în afara fundamentalei, și armonici ; înfășurările fiind legate în opoziție, armonicile impare se scad, iar cele pare se adună ;

— armătura mobilă este un disc ce face parte din ax, în care, datorită tăierii liniilor de cîmp apar în timpul rotirii curenți proporționali cu viteza de rotație, deci în înfășurările secundare apar defazaje importante, care duc la creșterea tensiunii de dezechilibru și a erorilor de măsurare.

Punctele de schimbare a fazei sînt deplasate constructiv spre extremitățile caracteristicilor prin numărul diferit de spire al înfășurărilor $W_I = 500$, $W_{II} = 800$, $W_{III} = 800$ și $W_{IV} = 500$.

Un factor care introduce erori foarte mari la măsurare este temperatura. Verificarea deplasării axiale și a dilatațiilor relative se face cu turbina oprită și la temperaturi cuprinse între 5 și 25°C, iar temperatura nominală de lucru a traductoarelor este de 60°C. La această temperatură rezistența înfășurărilor este mai mare, curentul prin ele are o valoare mai redusă și deci apar erori. Pentru înlăturarea acestor erori

la etalonarea traductorului se introduce o rezistență în serie cu înfășurarea primară, rezistență care, după atingerea valorii nominale a temperaturii, se șuntează.

Stabilirea acestei rezistențe pentru diverse temperaturi de etalonare se face în felul următor :

— se creează un umăr similar cu cel al axului turbinei și se atașează (fixează) la traductor cu coliere de aluminiu, respectîndu-se întrefierurile *a*, *b* și *c* pentru valoarea considerată zero, apoi se introduce tot dispozitivul în interiorul unui termostat cu care se face verificarea ;

— în serie cu înfășurarea primară a traductorului se introduce o cutie de rezistență ;

— se introduc sub tensiune toate circuitele ;

— se mărește temperatura pînă la valoarea de lucru a traductorului. După patru—cinci ore, cînd temperatura traductorului este egală cu cea a uleiului din termostat, se fixează aparatul indicator la zero din rezistențele de reglaj $R_1$ și $R_2$ (fig. 1) ;

— se reduce temperatura în trepte, notîndu-se pentru fiecare treaptă de temperatură eroarea obținută la aparatul indicator, iar cu ajutorul cutiei de rezistență se stabilește valoarea rezistenței care anulează eroarea, după care rezistența se fixează din nou pe poziția zero. În acest fel se ridică concomitent diagramele eroare indicate funcție de temperatură, $\varepsilon$, și rezistență funcție de temperatură, $R$.

Dacă nu se dispune de un termostat adecvat, această verificare se poate face prin suflare cu aer cald.

Pe refularea unui ventilator, într-o cămașă de tablă se montează un grup de rezistențe electrice pentru a se putea obține diverse trepte de temperatură. Traductorul trebuie să se afle permanent și complet în curentul de aer cald. Măsurarea temperaturii suportului traductorului și a aerului se face prin intermediul unor termorezistențe. Citirea erorii pentru o treaptă se face numai după ce temperatura suportului este egală cu cea a aerului și rămîne staționară.

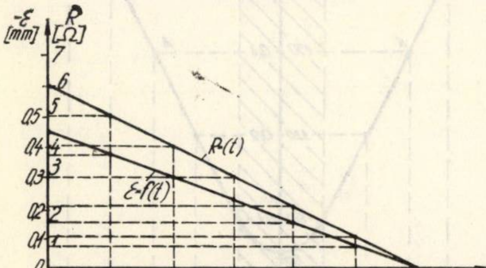



Fig. 4

În figura 4 sînt date graficele $\varepsilon = f(t)$ și $R = f(t)$ pentru traductorul CJP turbina nr. 3 a centralei Mintia — IEC Deva.

Aceste grafice pentru corecția temperaturii se ridică numai la punerile în funcțiune sau în cazuri accidentale, cînd intervin modificări ale parametrilor traductoarelor.

La verificările ulterioare se măsoară temperatura și se introduce în circuit rezistența corespunzătoare.

Notarea erorii pentru fiecare treaptă de temperatură trebuie făcută la aceeași valoare a frecvenței, deoarece stabilizatorul ferorezonant este foarte sensibil la variațiile frecvenței (o abatere a frecvenței de la 50 Hz cu $\pm 0,35$ Hz introduce o eroare de $\pm 0,1$ mm).

În viitor se consideră necesară alimentarea independentă a fiecărui traductor din măsurările deplasărilor mici și aceasta din următoarele motive :

*a*) În prezent traductoarele de dilatări relative, dilatări totale, săgeată ax și deplasare axială se alimentează de la un stabilizator sensibil nu numai la variațiile de frecvență, dar și la cele de sarcină. O defecțiune în circuitul unui traductor atrage după sine o indicare eronată a tuturor aparatelor, ceea ce duce la oprirea turbinei, deși defectul s-ar putea remedia fără oprire în cazul alimentării independente a traductoarelor.

*b*) Alimentarea independentă ar da posibilitatea verificării simultane a mai multor traductoare, fapt ce reduce considerabil timpul de verificări înaintea pornirilor.

*c*) S-ar crea posibilitatea verificării în laborator a corecțiilor de temperatură.

Avînd în vedere erorile aparatelor la variațiile de sarcină, este necesar controlul curentului în circuitul secundar al stabilizatorului, curent care să fie urmărit de personalul operativ.

### Încovoierea arborelui rotorului turbinei

Pentru măsurarea încovoierii arborelui pe lagărul din partea semicuplei CIP se montează un traductor similar cu cel descris pentru măsurarea deplasării axiale.

La traductorul pentru măsurarea încovoierii arborelui, modificarea întrefierului se face prin modificarea distanței dintre miezul magnetic și capătul din față al axului rotorului, funcție de încovoierea acestuia.

La funcționarea normală a turbinei, alimentarea traductorului se face în curent continuu. În lipsa încovoierii, în înfășurările secundare nu se induce curent. La apariția unei încovoieri, capătul axului (semicupla CIP) va descrie un cerc, întrefierurile se vor modifica și în înfășurările secundare se va introduce o tensiune alternativă cu frecvența dată de turația roto-

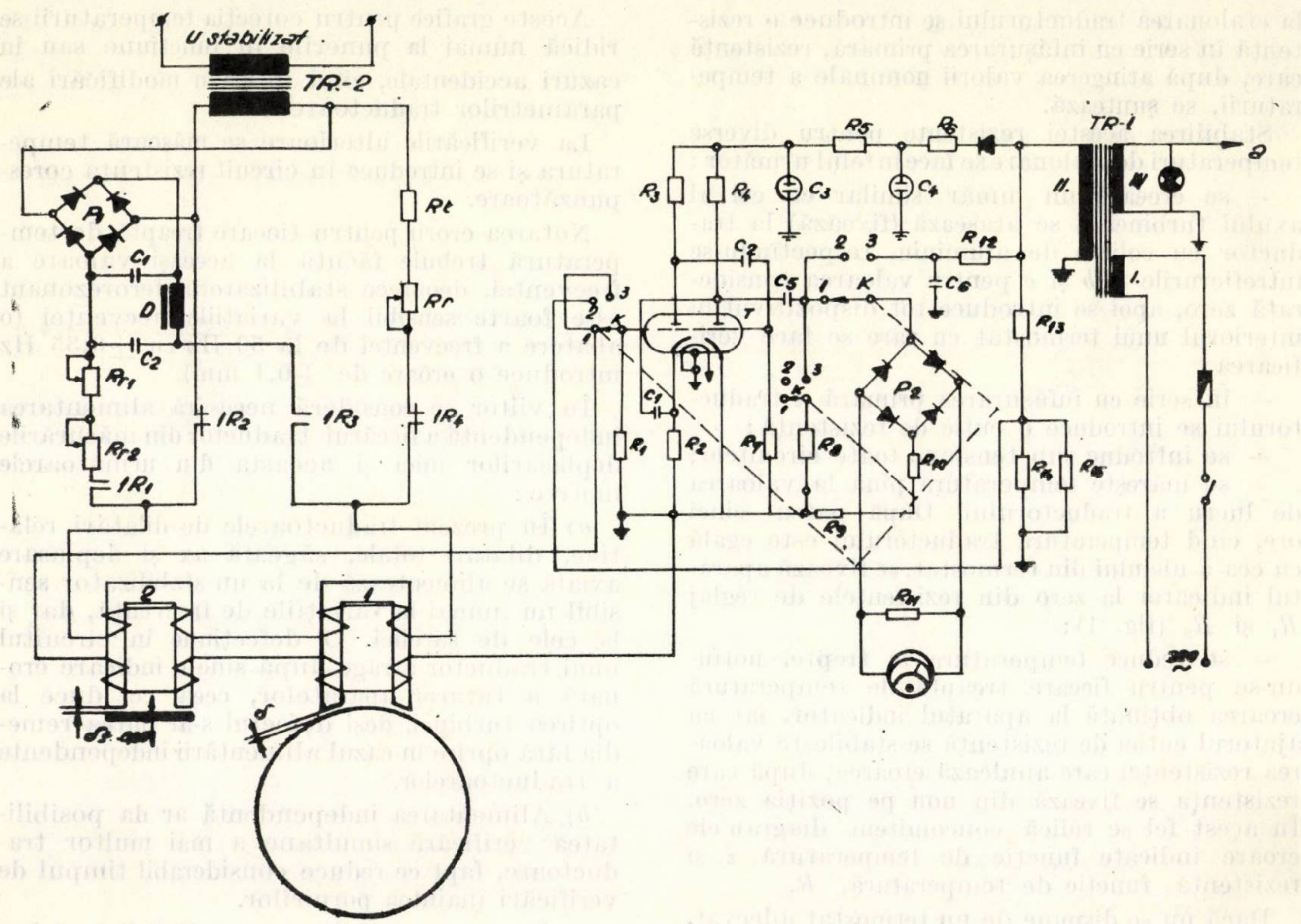



Fig. 5

rului și de valoare proporțională cu variația cîmpului magnetic, deci cu mărimea săgeții de curbare a arborelui.

La funcționarea cu virorul, schema este alimentată în curent alternativ, deoarece variația cîmpului magnetic nu este suficientă pentru inducerea unei tensiuni măsurabile.

Schema aparatului pentru măsurarea incovoierii axului turbinei este dată în figura 5.

## Măsurarea la funcționarea cu viror

La funcționarea cu viror schema funcționează cu două TDT, unul de lucru, montat pe turbină, și altul de compensare, montat pe același panou cu aparatul indicator.

Înfășurările primare ale celor două traductoare sînt legate în serie. Tensiunea obținută pe infășurările secundare legate în opoziție este aplicată la intrarea amplificatorului.

În absența încovoierii, intrefierul dintre traductorul de lucru și capătul axului rotorului

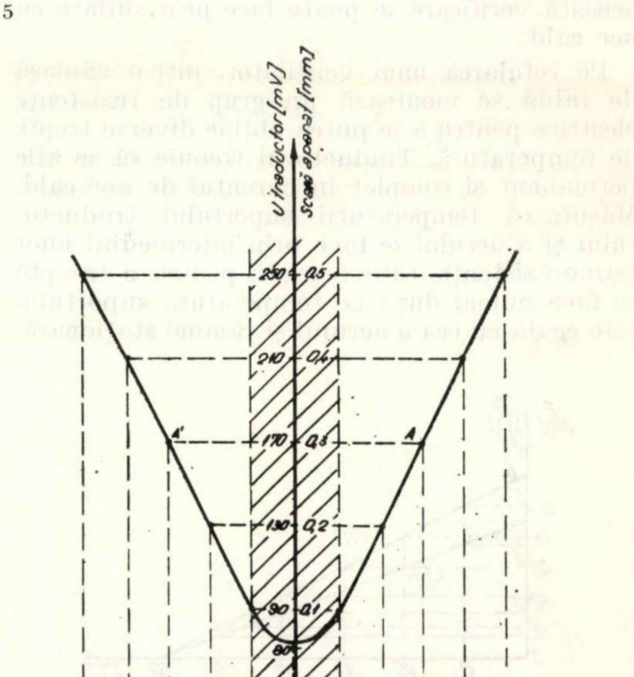



Fig. 6

(semicupla CIP) va fi egal cu intrefierul dintre traductorul de compensare și placa de reglaj a

acestuia; în consecință tensiunile induse în înfășurările secundare vor fi egale și în opoziție de fază.

Din prezentarea grafică a tensiunii dată de traductor funcție de încovoierea axului (fig. 6) rezultă următoarele:

a) tensiunea de dezechilibru are o valoare apreciabilă (80 mV);

b) datorită tensiunii de dezechilibru amplificatorul are în permanență o tensiune la intrare, iar aparatul va indica o valoare care, conform diagramei, este de 0,06 (mm).

Pentru înlăturarea erorilor de măsurare ce apar în jurul punctului de schimbare a fazei, această porțiune se exclude din domeniul de lucru. Se stabilește un centru convențional de lucru notat cu $A$ și respectiv $A'$ pe caracteristică și care corespunde la o indicație a aparatului de 0,30 (mm).

Acest centru se fixează prin micșorarea (mărirea) întrefierului de la traductorul de compensare.

*Citirea.* Pe aparat scara este gradată de la 0–0,5 (mm). La prezența încovoierii rotorului acul aparatului se deplasează în jurul centrului convențional fixat, 0,30 (mm), cu frecvența de rotație a arborelui (virorului). Amplitudinea întreagă de oscilație a acului este chiar mărirea săgeții $f$, de curbare a arborelui:

$$f = \alpha_{max} - \alpha_{min},$$

în care

$\alpha_{max}$ este deviația maximă a acului;
$\alpha_{min}$ — deviația minimă.

La funcționarea pe turație se folosește aceeași scară, numai că poziția acului pe scară arată direct mărimea încovoierii rotorului, citirea indicațiilor făcîndu-se de la zero.

*Verificarea amplificatorului.* Verificarea coeficientului de amplificare, precum și funcționarea corectă a amplificatorului se fac în felul următor:

— Se trece cheia $k$ pe poziția *3*. Aparatul indicator primește o tensiune bine stabilită de la înfășurarea secundară II, prin intermediul rezistenței $R$ 12, tensiune ce face ca acul aparatului indicator să se stabilească în jurul valorii de 0,25 (mm).

— Apoi cheia $k$ se trece pe poziția *2* și la intrarea amplificatorului se aplică o tensiune calibrată de la divizorul format din rezistențele $R$ 13, $R$ 14, și $R$ 15; acul aparatului indicator trebuie să se stabilească și de această dată în jurul valorii de 0,25 (mm), în așa fel încît diferența dintre indicațiile aparatului pe pozițiile *2* și *3* să nu fie mai mare de 0,05. Dacă această diferență este depășită trebuie verificat amplificatorul prin înlocuirea în primul rînd a tubului electronic.

## Concluzii

— Precizia de măsurare cu traductoare diferențiale tip transformator depinde în mare măsură de cunoașterea însușirilor pozitive și negative pe care acestea le posedă.

— Pentru evitarea erorilor mari introduse de temperatură se impune folosirea corecției, precum și a graficului $R = f(t)$ la etalonare.

— Este necesară cunoașterea erorilor introduse de frecvență.

— Se impune alimentarea independentă a fiecărui traductor din măsurarea deplasărilor mici ale turbinei.

**Bibliografie**


[1] *** *Documentația turbinei K–200–130.*

[2] Stupel, F. A. *Traductoare și convectoare electromagnetice.* Editura tehnică, București, 1967.


**(Articol intrat în redacție la 23 octombrie 1971)**

# Posibilități de evitare a cavitației pompelor de alimentare în cazul schemelor-bloc

**Ing. A. Nabijovici**
**și ing. S. Oprescu***)

Într-o centrală termoelectrică, mărimea, forma și dispoziția rezervorului de apă de alimentare și ale conductei de aspirație a pompei de alimentare sînt dictate de mărirea siguranței în exploatare, de considerații economice, precum și, deseori, de limitări în ceea ce privește dimensiunile acestuia și înălțimea de amplasare.

Din punctul de vedere al siguranței în exploatare este necesară o capacitate mare a rezervorului de apă de alimentare, pentru a dispune de rezervă de apă suficientă și, de asemenea, de o înălțime cît mai mare de amplasare, pentru a asigura buna funcționare a pompelor, ceea ce implică, însă, și creșterea investițiilor și a cheltuielilor de exploatare și generează uneori dificultăți de instalare.

Dimensionarea rezervorului de apă de alimentare, din punctul de vedere al rezervei de apă, este o problemă cunoscută și rezolvată funcție de tipul și debitul cazanului.

Măsurile pentru evitarea pericolului de cavitație a pompelor de alimentare în cazul schemelor-bloc constituie încă o problemă care îi preocupă pe specialiști. Preîntîmpinarea pericolului de cavitație se face printr-o serie de măsuri care vor fi analizate în continuare pentru cazul amplasării degazorului la o cotă fixă, $H$.

În cazul în care degazorul poate fi amplasat convenabil, prin însăși amplasarea lui se creează coloana de apă necesară pentru a înlătura pericolul de cavitație.

### Măsuri pentru evitarea cavitației în cazul amplasării degazorului la o cotă fixă, H

Se știe că înălțimea totală necesară pentru evitarea cavității este

$$H_t = H_1 + H_2 + H_3, \quad (1)$$

în care

$H_1$ este înălțimea netă la aspirația pompei (NSPH);

$H_2$ — pierderea de presiune pe conducta de aspirație;

$H_3$ — înălțimea suplimentară necesară pentru a împiedica vaporizarea apei în aspirația pompei.

---

*) Abdulah Nabijovici este inginer principal proiectant; Stelian Oprescu este inginer proiectant; ambii lucrează la I.C.P.E.T.-București.

Evident, cînd $H < H_t$, reducerea lui $H_t$ se poate face acționînd asupra oricărui termen al relației (1).

### *Măsuri pentru reducerea înălțimii nete la aspirația pompei (NSPH)*

Din motive constructive, pompele de alimentare pentru blocurile moderne avînd turații și debite mari, rezultă că și înălțimea $H_t$ pentru aceste pompe este mare. Reducerea acestei înălțimi se poate face fie constructiv, îmbunătățind parametrii pompei, parametri limitați de vitezele admisibile în pompă pentru un debit dat, fie îmbunătățind procesul de fabricare a pompelor. Se menționează că aceste posibilități permit împreună reducerea înălțimii cu circa 13%, procent uneori insuficient.

O altă posibilitate este reducerea turației, însă în acest caz dimensiunile pompei cu debit mare devin impresionante; din aceste motive se preferă prevederea unei pompe suplimentare cu turație și înălțime de refulare reduse, care să fie legată în serie pe partea de apă cu pompa principală. Astfel, datorită reducerii turației, înălțimea netă de înecare scade. Se menționează că nu s-a luat în considerare micșorarea debitului unitar, care ar duce la creșterea unităților de pompare. Această măsură are ca urmare reducerea înălțimii necesare la aspirație cu circa 60%. Comparativ, cele două înălțimi necesare, în cazul cu și fără pompă de prealimentare, sînt prezentate în figura 1, pentru diferite turații ale pompelor de alimentare.

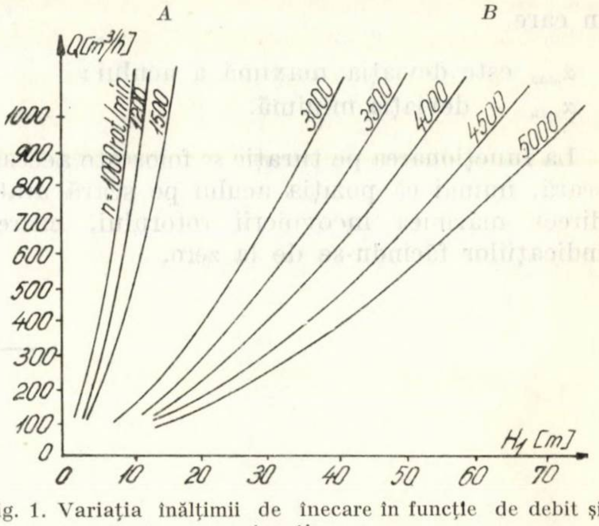



Fig. 1. Variația înălțimii de înecare în funcție de debit și turație:

*A* – fără pompă de prealimentare; *B* – cu pompă de prealimentare.

Măsura prezintă avantaje evidente, însă are ca urmare complicarea modulului de antrenare a pompei. De obicei, pompa de prealimentare este antrenată în cazul turbopompelor de alimentare prin intermediul unui reductor și al

unui variator de turație (ceea ce scumpește instalația), iar în cazul electropompelor, direct de motorul de antrenare. Se remarcă faptul că atît turbina cît și motorul electric trebuie să aibă posibilitatea de antrenare la ambele capete ale rotorului. Cu toată scumpirea modului de alimentare, avantajele rezultate, mai ales la debite mari, justifică economic această scumpire.

*Măsuri pentru reducerea pierderilor de presiune pe conducta de aspirație*

Reducerea pierderilor de presiune pe conducta de aspirație este posibilă în trei moduri, și anume :

— Prin mărirea diametrului. Acest lucru este însă limitat, pentru că adoptarea unui diametru mare al conductei de aspirație duce la reducerea lui $H_2$, dar la creșterea lui $H_3$. Din această cauză există o valoare a diametrului pentru care suma $H_1 + H_3$ este minimă [7].

— Scurtarea traseului conductei, care se poate face în două moduri :

a) prin prevederea unui compensator lenticular, care însă introduce o pierdere de presiune destul de importantă ;

b) prin legarea rigidă a aspirației pompei cu degazorul prin intermediul conductei ; transmisia motor — pompă (sau pompă de prealimentare în cazul frecvent) se face sub forma unei transmisii cardanice, pompa fiind mobilă. (Centrala Vaire sur Marne — Franța). În acest caz este necesară o aprofundată analiză economică pentru a opta asupra uneia sau alteia dintre posibilități.

— Prevederea pe traseu a cît mai puține elemente care introduc pierderi de presiune. În cazul în care se renunță la filtru pe aspirația pompei de prealimentare, pentru a compensa faptul că apa nu este filtrată, se recomandă ca racordul conductei de aspirație la

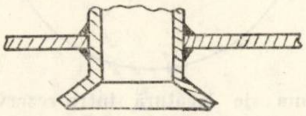


Fig. 2. Racord pentru conducta de aspirație.

degazor să se facă ca în figura 2, înălțimea $H$ stabilindu-se funcție de calitatea apei admisă în circuit.

*Măsuri pentru reducerea înălțimii suplimentare necesare evitării cavitației* ($H_3$)

Înălțimea suplimentară necesară pentru evitarea cavitației este unul dintre elementele specifice care apar în cazul schemelor-bloc, unde variația bruscă a presiunii în degazor are repercusiuni asupra funcționării sistemului de alimentare. Calculul valorii necesare pentru această înălțime a fost descris în literatura de specialitate. Se observă că în toate calculele apar ca elemente comune presiunea din rezervor sau temperatura de saturație corespunzătoare presiunii respective, volumul de apă din conductă și presiunea apei în conducta de aspirație. Legat de acestea, măsurile principale ce se pot lua constau în :

— Simplificarea traseului conductei. Variația presiunii în rezervorul degazorului în cazul unei declanșări are loc după o lege exponențială [1], în timp ce presiunea hidrostatică din conductă variază liniar. Dacă conducta nu are porțiuni orizontale, variația presiunii hidrostatice în conductă are loc ca în figura 3, curba *1*.

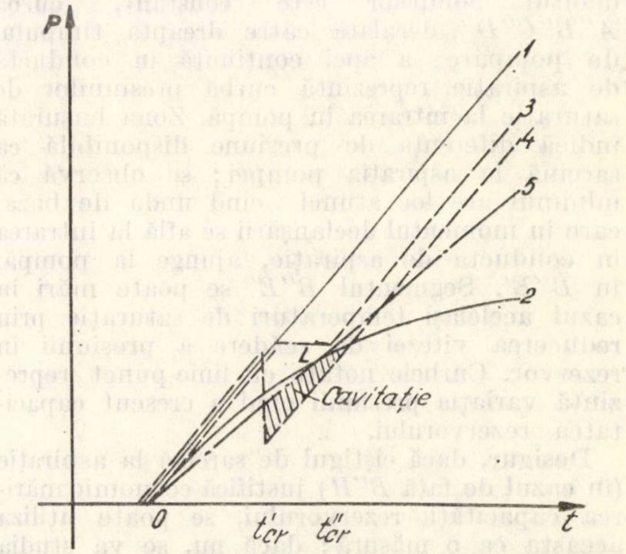



Fig. 3. Variația presiunii în degazor și a presiunii hidrostatice pe conductă :

*1* – variația presiunii hidrostatice pe conducta dreaptă ; *2* – variația presiunii în degazor ; *3* – variația presiunii hidrostatice în trasee cu porțiuni orizontale ; *4* – variația presiunii hidrostatice în trasee cu porțiuni orizontale și cu rezistențe ; *5* – variația presiunii în conductă cu vaporizarea apei în partea superioară.

Fenomenul de cavitație nu apare atît timp cît creșterea de presiune hidrostatică compensează scăderea presiunii din degazor. Din figura 3 se observă că pot exista situații în care pe o porțiune a conductei *AL* (curba *5*) apa se vaporizează, dar nu și la pompă (curba *5*, fig. 3). În acest caz unii specialiști recomandă mărirea diametrului conductei, pentru a permite aburului apărut să se întoarcă în degazor, îmbunătățind regimul hidraulic al apei. Această măsură nu este corectă, deoarece mărirea diametrului duce la mărirea cantității de apă din conductă, ceea ce înrăutățește pe ansamblu situația, chiar dacă local ea este îmbunătățită (criteriul Gage). Dacă vaporizarea în conductă are loc în partea superioară, aburul poate fi antrenat spre pompă, dar odată cu mărirea presiunii el se va condensa, producînd eventual mici vibrații ale conductei, ca urmare a loviturilor de berbec ce apar în conductă.

Avînd în vedere faptul că aceste lovituri nu au o frecvenţă regulată, conducta le poate suporta.

— Mărirea volumului rezervorului de alimentare. Această măsură este eficientă din ambele puncte de vedere arătate în capitolul introductiv. În cazul unei declanşări o parte din masa de apă se evaporă, căutînd să împiedice scăderea presiunii în rezervor; desigur, cu cît masa de apă este mai mare, cu atît presiunea în rezervor scade mai lent. Dacă se reprezintă variaţia presiunii în rezervor şi la aspiraţia pompei ca în figura 4, se constată că, $ABCD$ fiind curba de presiune din degazor în funcţie de timp, curba $A'B'C'D'$ decalată în sus cu valoarea $H_5$ (statică) este curba de presiune la intrarea în pompă. Pe de altă parte, dacă debitul pompelor este constant, curba $A''B''C''D''$, decalată către dreapta timpului de pompare a apei conţinută în conducta de aspiraţie, reprezintă curba presiunilor de saturaţie la intrarea în pompă. Zona haşurată indică diferenţa de presiune disponibilă ca sarcină la aspiraţia pompei; se observă că minimul are loc atunci cînd unda de bază, care în momentul declanşării se află la intrarea în conducta de aspiraţie, ajunge la pompă, în $B''E'$. Segmentul $B''E'$ se poate mări în cazul aceleiaşi temperaturi de saturaţie prin reducerea vitezei de scădere a presiunii în rezervor. Curbele notate cu linie-punct reprezintă variaţia presiunii cînd a crescut capacitatea rezervorului.

Desigur, dacă cîştigul de sarcină la aspiraţie (în cazul de faţă $B''H$) justifică economic mărirea capacităţii rezervorului, se poate utiliza aceasta ca o măsură; dacă nu, se va studia eficienţa altei măsuri.

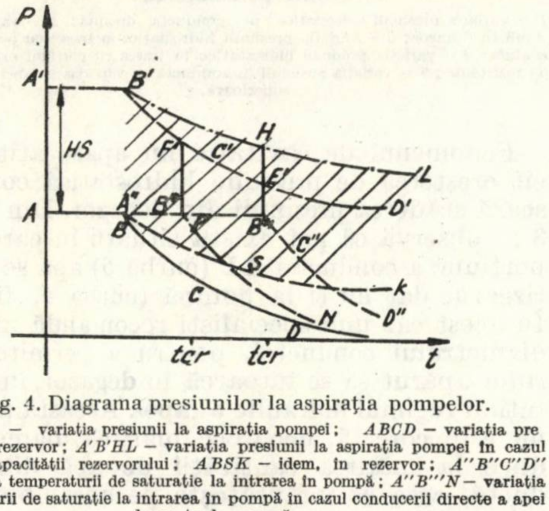



Fig. 4. Diagrama presiunilor la aspiraţia pompelor.
$A'B'C'D'$ — variaţia presiunii la aspiraţia pompei; $ABCD$ — variaţia presiunii în rezervor; $A'B'HL$ — variaţia presiunii la aspiraţia pompei în cazul măririi capacităţii rezervorului; $ABSK$ — idem, în rezervor; $A''B''C''D''$ — variaţia temperaturii de saturaţie la intrarea în pompă; $A''B'''N$ — variaţia temperaturii de saturaţie la intrarea în pompă în cazul conducerii directe a apei degazate la pompă.

— Construcţia specială a rezervorului, fără prevederea unei suprafeţe de răcire a masei de apă. Sînt realizate pînă în prezent două construcţii speciale şi există posibilitatea unei a treia.

În primul caz ansamblul este construit (fig. 5) din degazor şi rezervor de alimentare. Pentru a îmbunătăţi condiţiile de aspiraţie a pompelor de alimentare în cazul declanşării, apa degazată în degazor este condusă printr-o conductă direct la ieşirea din rezervor. În partea de jos a rezervorului există un tor cu o secţiune redusă de comunicaţie cu apa din rezervor. Această dispoziţie este adoptată în instalaţiile americane. Efectul se reflectă asupra temperaturii de saturaţie, care începe să scadă mai devreme decît punctul $B''$ din figura 4, şi anume din $B'''$ (fig. 4). Înălţimea netă disponibilă este $B'''F' > B''E'$, deci ea creşte. Combinată cu cea anterioară, măsura duce la un cîştig important de înălţime disponibilă.

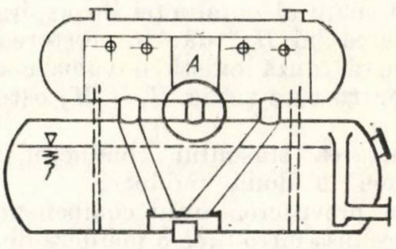


Fig. 5. Ansamblul degazor-rezervor cu conducerea directă a apei în aspiraţia pompei.

A doua măsură ce se poate lua din punct de vedere constructiv are la bază posibilitatea de a controla debitul de abur ce se formează în degazor şi prin intermediul legăturii pe partea de abur dintre rezervor şi degazor (fig. 6). Legătura este prevăzută cu o diafragmă de laminare şi în acest caz presiunea în degazor va fi totdeauna mai mică decît cea din rezervor, ca urmare a laminării aburului format în rezervor; dacă diafragma este calibrată, se poate controla în mod suficient de bine scăderea presiunii în rezervor. Se remarcă faptul că această măsură trebuie luată împreună cu cea anterioară sau, dacă nu este necesară combinarea acestor măsuri, se prevede ca degazorul să fie legat cu rezervorul printr-o conductă înecată în masa de apă a acestuia din urmă (fig. 7).

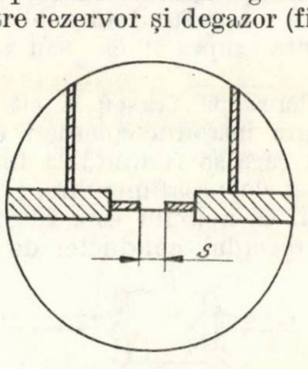



Fig. 6. Diafragmă de legătură între rezervor şi degazor.

Diafragma îndeplineşte acelaşi rol ca şi mărirea capacităţii rezervorului, dar evident

este mai economică. Această construcţie, ca şi prima, este des utilizată în S.U.A. şi, parţial în centralele din Europa Occidentală (centrala Gennevilliers — Franţa).

Cea de-a treia măsură constă în compartimentarea rezervorului în două, trei sau patru camere. Pe lîngă alte avantaje, compartimentarea rezervorului apei de alimentare mai

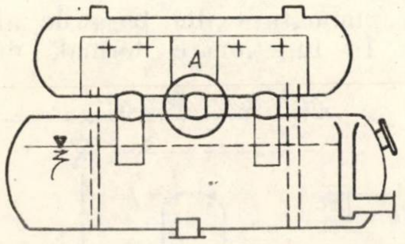



Fig. 7. Legătura degazor-rezervor cu conductă înecată.

prezintă şi avantajul creşterii rolului de amortizor al acestuia. Dacă se consideră că rezervorul este compartimentat în trei părţi iar apa se aduce într-unul din compartimente, trecînd apoi în celelalte, temperatura în diferite compartimente [2] este diferită în cazul scăderii presiunii.

— Construcţii de ansamblu degazor-rezervor, cu instalaţii de răcire interioare. Reducerea înălţimii suplimentare se realizează numai ca urmare a coborîrii mai rapide a temperaturii de saturaţie în comparaţie cu coborîrea presiunii din rezervor. Dacă instalaţia este realizată corespunzător, pericolul de cavitaţie la declanşare este înlăturat.

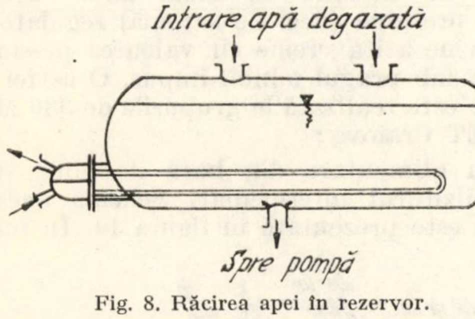



Fig. 8. Răcirea apei în rezervor.

Un degazor prevăzut cu o astfel de instalaţie este prezentat în figura 8, iar posibilităţile de legare în schemă sînt redate în figura 9. Modul de legare în schemă necesită unele discuţii.

Legarea ca în figura 9 *a*, deci pe partea apei preîncălzite în PJP, prezintă avantajul că în momentul declanşării, atunci cînd se face comutarea alimentării cu apă a degazorului prin deschiderea şi închiderea simultană a vanelor *A* şi respectiv *B*, răcitorul din rezervorul de apă de alimentare este parcurs de apă mai caldă, deci $\Delta t$ în metal nu capătă brusc o valoare mare; apa se răceşte treptat, pe măsura răcirii masei de metal a PJP. Admiterea în răcitor a apei la temperatura condensatorului (fig. 9 *b*) poate da naştere în primul moment la eforturi periculoase în metal, ca urmare a diferenţei mari de temperatură dintre o faţă şi

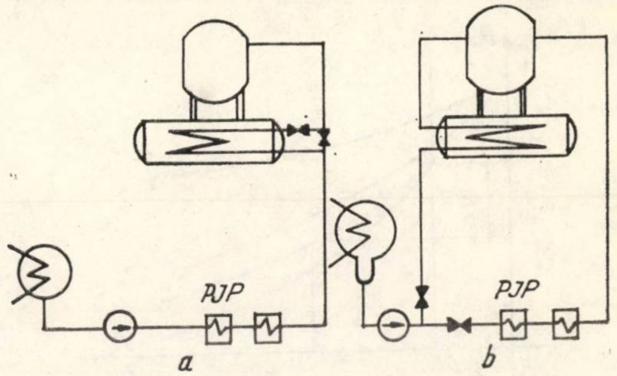



Fig. 9. Schema de legare a răcitorului din rezervor.

alta în primul moment (fig. 11, curbele *3*, *4*), ducînd chiar la o eventuală spargere a ţevilor, ceea ce este foarte grav, deoarece scoate din funcţiune degazorul sau permite introducerea în circuit a apei nedegazate. În acest caz este necesar să se ia în considerare regimul dinamic al răcitorului, deoarece existenţa lui produce o întîrziere în stabilirea temperaturii finale în partea de jos a rezervorului (la ieşirea spre pompă). O măsură mai eficace este aceea de a compartimenta rezervorul ca în figura 10. Se compartimentează zona din care aspiră pompa, în această zonă introducîndu-se răcitorul. În acest fel, timpul necesar regimului dinamic este mult mai mic, ca urmare a cantităţii mai mici de metal a răcitorului şi a măririi vitezei în exteriorul răcitorului. Dacă se prezintă pe o diagramă variaţia temperaturii apei la intrarea în conducta de aspiraţie funcţie

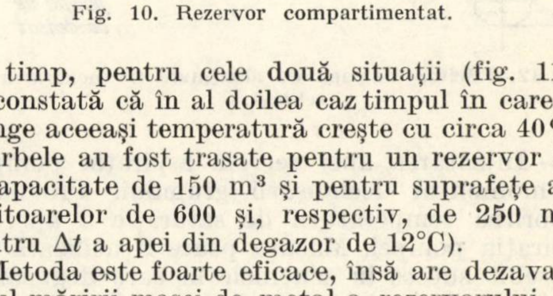



Fig. 10. Rezervor compartimentat.

de timp, pentru cele două situaţii (fig. 11), se constată că în al doilea caz timpul în care se atinge aceeaşi temperatură creşte cu circa 40%. (Curbele au fost trasate pentru un rezervor cu o capacitate de 150 m³ şi pentru suprafeţe ale răcitoarelor de 600 şi, respectiv, de 250 m², pentru $\Delta t$ a apei din degazor de 12°C).

Metoda este foarte eficace, însă are dezavantajul măririi masei de metal a rezervorului, al îngreunării execuţiei şi al complicării deosebite

a instalației, precum și al automatizării ansamblului degazor-răcitor.

— Se prevede pe circuitul apei de la rezervor la pompă un răcitor de apă, ca și în cazul precedent, deosebirea constînd în scoaterea lui

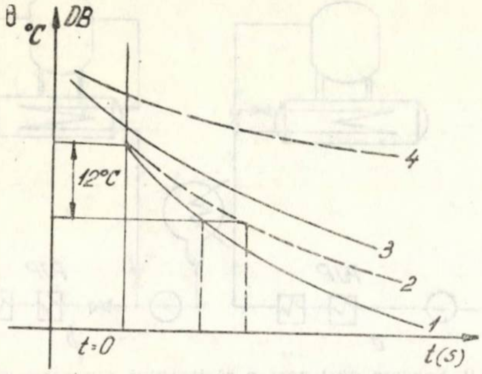



Fig. 11. Variația temperaturii la ieșirea din rezervor în cazul răcirii apei din rezervor, precum și diferența de temperatură în peretele țevii.

1 – fără compartimentare; 2 – cu compartimentare; Variația Δθ în peretele țevii răcitorului; 3 – în cazul schemei 9 b; 4 – în cazul schemei 9 a.

din rezervorul de apă de alimentare, fără a complica deci construcția acestuia. Soluția ridică două probleme, și anume: existența locului de amplasare a răcitorului (respectîndu-se cele indicate anterior), precum și construirea acestuia cu pierderi minime de presiune (fig. 12).

În cazul ultimelor două măsuri este necesar să se aibă în vedere eventualul șoc hidraulic ce apare pe partea de apă ca urmare a deschiderii și a închiderii ventilelor necesare realizării circulației dorite.

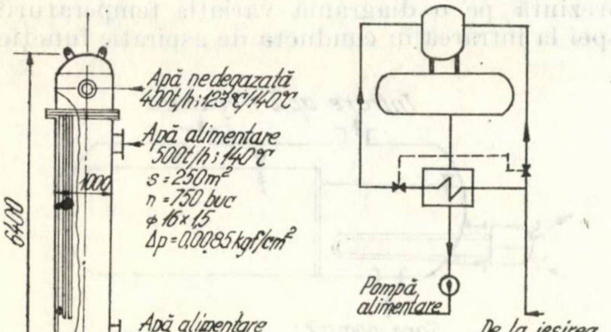



Fig. 12. Răcitor de apă de alimentare și încadrarea în schemă.

— Injectarea apei reci în aspirația pompei în momentul declanșării grupului. Provoacă coborîrea temperaturii de saturație a apei la aspirația pompei. Măsura poate fi utilizată cu deosebit succes în schemele în care degazarea apei se face parțial în condensator. În schemele obișnuite permite introducerea apei nedegazate în apa degazată, putînd duce la degradarea calității apei, ceea ce dăunează cazanului.

— Asigurarea alimentării cu abur a degazorului. Prin asigurarea alimentării cu abur a degazorului se limitează scăderea presiunii în acesta evitînd astfel posibilitatea apariției cavitației. În cazul schemelor-bloc, alimentarea de siguranță a degazorului se poate face în două moduri, și anume:

— prin alimentare din bara de abur viu (fig. 13). În funcționare normală degazorul

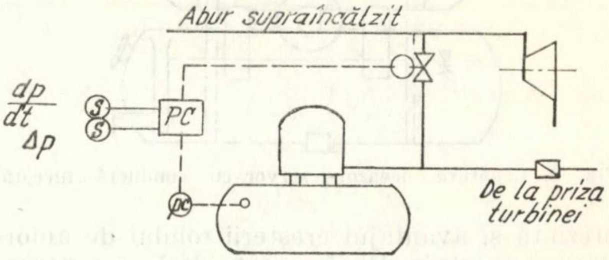



Fig. 13. Alimentarea degazorului de la bara de abur viu

este alimentat cu abur de la priza turbinei. În cazul declanșării grupului, ventilul de reducere-reglare prevăzut pe conducta de alimentare în siguranță de la bara de abur viu deschide, ca urmare a scăderii rapide a presiunii în degazor. Automatizarea nodului este complexă, deoarece este necesar ca la variații lente de sarcină instalația să nu lucreze. În acest scop se prevede un regulator ce lucrează cu impuls de presiune de la degazor, însă care are ca valoare-consemn viteza de reducere a presiunii în acesta; în cazul unor variații lente de presiune (deci de sarcină) regulatorul nu intervine atita vreme cît valoarea presiunii nu scade sub pragul minim impus. O astfel de instalație este realizată la grupurile de 330 MW de la CET Craiova;

— prin alimentare din bara de abur spre supraîncălzitorul intermediar. Schema acestei instalații este prezentată în figura 14. În func-

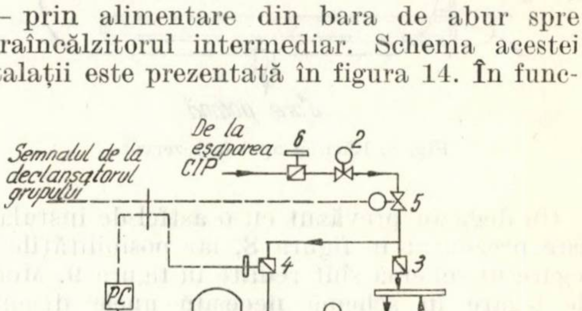



Fig. 14. Alimentarea degazorului de la bara rece.

ționare normală aburul de priză este adus în colectorul de alimentare a degazorului, de unde se alimentează degazorul; armăturile *1*, *2*, *6* și *7* sînt complet deschise, iar *4*, *5* și *3* sînt închise incomplet, permițînd realizarea unei

mici circulaţii pentru menţinerea în stare caldă a instalaţiei. În caz de declanşare, clapeta *4* şi robinetul de reducere-reglare *5* se deschid simultan, comandate nu de regulator, ci direct de un impuls de declanşare a turbinei, admiţîndu-se în degazor abur de la eşaparea corpului de IP ; regulatorul intră în funcţiune după un timp scurt, timp în care se deschid aceste armături (circa 0 - 30 s), menţinînd presiunea la o anumită valoare.

Prima posibilitate de alimentare cu abur a degazorului în caz de declanşare prezintă dezavantajul unor temperaturi ridicate la care ar lucra instalaţia de degazare ; de asemenea, intervalul de lucru al robinetului de reducere-reglare ar fi mare, deci scump ; a doua schemă înlătură parţial aceste neajunsuri, lucrînd la parametri iniţiali mai mici, dar are dezavantajul şocului la deschiderea bruscă a armăturilor menţionate.

**Fundamentarea matematică a principalelor măsuri**

Înălţimea netă la aspiraţia pompei este dată de relaţia :

$$H_1 = \left[\left(\frac{n}{100}\right)^2 \frac{V}{kS}\right]^{3/2} + \frac{u^2}{2g}, \qquad (2)$$

în care

$n$ este turaţia pompei, rot/min ;

$V$ — debitul volumetric, m³/s ;

$u$ — viteza apei la intrarea în prima roată a pompei, m/s ;

$S$ — coeficient ce ţine seama de modul de execuţie a pompei ($S < 2{,}3$ execuţie mijlocie ; $2{,}3 < S < 2{,}5$ execuţie superioară ; $S = 2{,}6$ valoare optimă) ;

$k$ — factor constructiv ; $k = 1 - \left(\frac{d_b}{D_p}\right)^2$, (2′)

în care

$D_p$ este diametrul la extremitatea exterioară a paletei ;

$d_b$ — diametrul la extremitatea interioară a paletei.

Coeficienţii asupra cărora se poate acţiona în proiectare sînt $k$ şi $S$, coeficienţi caracteristici pompei, întrucît se consideră că debitul şi turaţia sînt impuse, iar raportul $\frac{u^2}{2g}$ are o valoare mică. După unele cercetări recente, valoarea maximă a coeficientului $S$ poate creşte pînă la 3,26, care ar reprezenta perfecţiunea în ceea ce priveşte modul de fabricare a acestor pompe. De asemenea, $k$ este limitat constructiv, raporturile uzuale avînd valorile :

$$\frac{d_b}{D_p} = 0{,}4 - 0{,}6$$

Metodele de calcul pentru determinarea înălţimii suplimentare necesare la aspiraţia pompelor de alimentare în cazul schemelor bloc se bazează pe trei criterii, şi anume :

— *Criteriul Gage.* A fost stabilit pe baza diferenţelor spaţiale de entalpie şi se prezintă grafic ca în figura **15**. Se observă că factorii care intervin sînt : temperatura de saturaţie din rezervor (şi conductă) şi coeficientul $\alpha$ definit astfel [1] :

$$\alpha = \frac{m}{M}, \qquad (3)$$

în care

$m$ este cantitatea de apă din conducta de aspiraţie a pompelor, t ;

$M$ — echivalentul în apă al ansamblului metalic rezervor-apă şi apă, t.

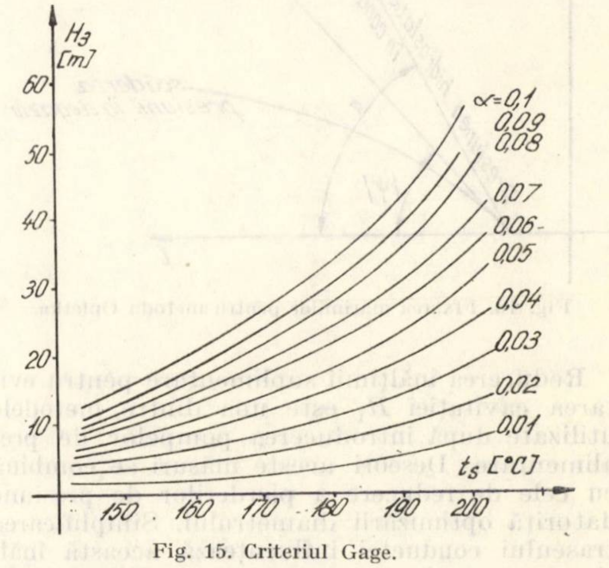



Fig. 15 Criteriul Gage.

— *Metoda Lescoeur.* Formula de calcul pentru înălţimea suplimentară este [6] :

$$H - H_1 - H_2 \frac{4(\theta_i - \theta_a)\,\theta_i^3}{10^4\,\gamma} \cdot \frac{m}{M_0} \cdot \frac{q_a}{q_i} > 0, \qquad (4)$$

în care

$H_1$ este pierderea de presiune pe conducta de aspiraţie ;

$H_2$ — înălţimea netă de înecare a pompei (NSPH) ;

$\theta_i$ — temperatura de saturaţie din rezervor în regim nominal ;

$\theta_a$ — temperatura apei la intrarea în degazor după declanşare ;

$m$ — greutatea apei din conducta de aspirație;

$M_0$ — greutatea apei din rezervor;

$q_a, q_i$ — debitele de apă care intră-ies din rezervor.

— *Metoda Oplatka.* Este o metodă grafoanalitică și se exprimă astfel [2]:

$$\varphi > (\psi), \tag{5}$$

în care

$$\operatorname{tg} \psi = \left(\frac{\mathrm{d}p_{deg.}}{\mathrm{d}t}\right)_{t=0}; \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{\mathrm{d}p_{col.}}{\mathrm{d}t}, \tag{6}$$

unde

$p_{col.}$ este presiunea hidrostatică din conductă;

$p_{deg.}$ — presiunea în degazor.

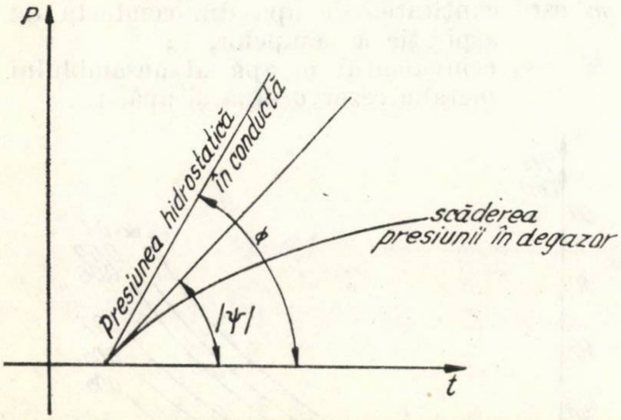



Fig. 16. Fixarea mărimilor pentru metoda Oplatka.

Reducerea înălțimii suplimentare pentru evitarea cavitației $H_1$ este una dintre metodele utilizate după introducerea pompelor de prealimentare. Deseori aceste măsuri se combină cu cele de reducere a pierderilor de presiune datorită optimizării diametrului. Simplificarea traseului conductei influențează această înălțime ca urmare a reducerii lungimii lui. În cazul general lungimea conductei de aspirație este de 1,4 — 1,6 ori mai mare decît diferența dintre cotele de amplasare ale degazorului și ale pompei. Rezultă că o eventuală reducere de nălțime se datorește modificării coeficientului $\alpha$ cu circa 40 — 60%, în cazul adoptării ca limită a traseului în linie dreaptă. Variația lui $\alpha$ din curbele din figura 15 (criteriul Gage) indică o reducere a înălțimii $H_1$ cu circa 30%.

Ținînd seama de faptul că $H_1/H_t$ are valoarea minimă de circa 40%, rezultă că această măsură permite reducerea înălțimii totale cu circa 12 — 14%.

— *Mărirea volumului de apă al rezervorului.* Acționează asupra lui $\alpha$, mărind numitorul raportului. Valoarea maximă de reducere este aceeași ca în cazul măsurii precedente, de circa 12 — 14%, cu observația că această măsură are efecte pozitive și în exploatare normală, reducînd variațiile de temperatură ale apei din rezervor. Efectul măririi volumului se poate vedea utilizînd nomograma din figura 17, unde funcție de timp se arată modul de variație a temperaturii din rezervor.

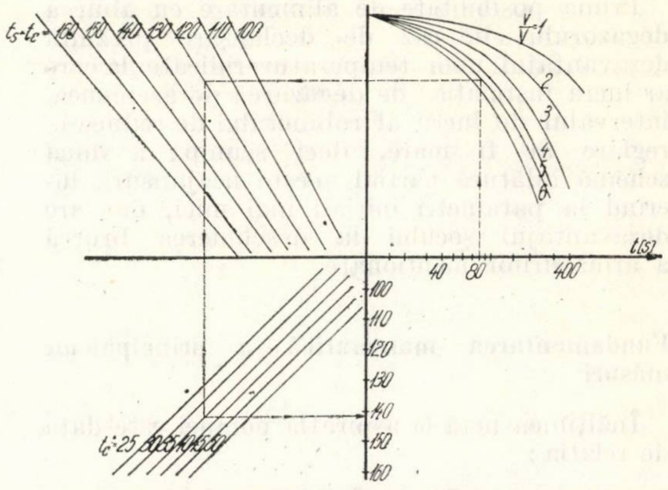


Fig. 17. Efectul măririi volumului rezervorului asupra scăderii temperaturii.

$t_s$ — temperatura de saturație în regim normal, °C; $t_c$ — temperatura condensatului din condensator, °C; $v$ — debitul de apă ce sosește în rezervor, m³/h; $V$ — volumul de apă din rezervor, m³.

— *Aducerea apei din degazor direct în conducta de aspirație a pompei, prevederea de răcitoare în rezervor sau pe conducta de aspirație, injecția de apă în conducta de aspirație.* Sînt măsuri care acționează asupra reducerii temperaturii de saturație din rezervor. Reducerea înălțimii în aceste cazuri depinde pe de o parte de $\Delta t$, cu care se reduce temperatura de saturație, iar pe de altă parte de timpul în care se face această reducere. Pentru ca măsura să fie eficientă este necesar ca totdeauna timpul în care se face această coborîre să fie mai mic decît timpul critic, pentru că numai în acest caz curba $A''B'''N$ din figura 4 este sub curba $A''B''C''$, care reprezintă scăderea normală a temperaturii apei din rezervor, scădere ce se face după relația [2]:

$$\theta = \theta_c + (\theta_i - \theta_a)\, e^{-\frac{v}{V}t},$$

în care:

$\theta$ este temperatura la momentul $t$ după declanșare, °C;

$\theta_i$ — temperatura din rezervor înainte de de declanșare, °C;

$\theta_a$ — temperatura condensatului la condensator, °C;

$v$ — debitul volumetric de apă la intrarea în degazor, m³/h;

$V$ — volumul de apă al rezervorului, m³.

Admiţînd că $\Delta\theta = 10°C$ (fig. 17), reiese că reducerea de înălţime ce se poate obţine depinde de debitul de apă al pompei de alimentare, precum şi de turaţia ei, dar se poate admite că la orice debit se asigură o reducere de circa 8 — 10%. Se remarcă faptul că prevederea unui răcitor de apă compartimentat ca în figura 10 sau a unui răcitor de apă pe conducta de aspiraţie (fig. 12) constituie o măsură mai eficientă decît răcirea apei în rezervor, deoarece este răcită efectiv numai apa care părăseşte rezervorul, iar în al doilea caz apa este răcită chiar în apropiere de aspiraţia pompei. Dacă procentul de reducere a înălţimii rămîne aproximativ acelaşi (8 — 10%), timpul în care se face coborîrea temperaturii în acest caz este sensibil micşorat, deci punctul de începere a coborîrii temperaturii de saturaţie la aspiraţia pompei este mai în stînga punctului considerat ca punct de începere a coborîrii temperaturii de saturaţie în cazul răcirii apei în rezervor.

Introducerea unei diafragme pe conducta de legătură pe partea de abur între rezervor şi degazor este o măsură care are drept urmare limitarea vitezei de coborîre a presiunii. Şi în cazul acestei măsuri timpul joacă un rol important, fiind unul dintre elementele de dimensionare a diafragmei.

Pentru ca măsura să fie eficientă este necesar ca timpul de coborîre a presiunii să fie mai mare de două sau de trei ori decît cel în care presiunea scade natural; în acest caz curba $A'B'C'D'$ din figura 4 se deplasează în sus, mărind înălţimea disponibilă.

În cazul compartimentării rezervorului de apă de alimentare, temperatura în oricare dintre compartimente este dată de relaţia [2]:

$$\theta_i = e^{-\beta t}\left\{\sum_{j=0}^{j=1} C_{ij}\frac{(\beta t)^j}{j!} + a^i \int \cdots \int \theta(t)\, e^{\beta t}\, dt^i\right\}, \tag{7}$$

în care

$$\beta = n\beta_0 = n\frac{v}{V} = n\cdot\frac{1}{T};$$

$v$ — debitul de apă la intrare-ieşire din degazor;
$V$ — capacitatea rezervorului;
$T$ — timpul de umplere a rezervorului.
$n$ — numărul de compartimente.

În cazul de faţă $j = 1,2,3$. În funcţionare normală, temperatura la intrarea în degazor variază sinusoidal după legea:

$$\theta(t) = A \sin \mu t, \tag{8}$$

în care

$A$ este amplitudinea maximă a oscilaţiei,
$\mu$ — pulsaţia.

Înlocuind în expresia (7) expresia (8), se constată că, de exemplu, pentru $n = 1$, $\theta$ are valoarea:

$$\theta_1 = \frac{\beta A}{\beta^2 + \mu^2}(\mu\, e^{-\alpha t} + \beta \sin \mu t - \mu \cos \mu t) \tag{9}$$

Cum în general perioada de oscilaţie este de ordinul timpului de umplere, termenul $\mu\, e^{-\beta t}$ se poate neglija:

$$\theta_1 = \frac{\beta A}{\sqrt{1 + \left(\frac{\beta}{\mu}\right)^2}} \sin(\mu t - \varkappa) \tag{10}$$

$$\left(\text{s-a notat } \operatorname{tg}\varkappa = \frac{\mu}{\beta}\right).$$

Se constată că şi temperatura la ieşire variază după aceeaşi lege, dar intervin un alt defazaj şi o altă amplitudine $A_a$. Amplitudinea este cu atît mai redusă cu cît numărul de compartimente este mai mare; pentru o intrare şi o ieşire este valabilă relaţia:

$$\frac{A_1}{A} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\mu}{\beta}\right)^2}} < 1; \tag{11}$$

pentru $n$ compartimente:

$$\frac{A_n}{A} = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{\mu}{\beta}\right)^2\right]^{n/2}}, \tag{12}$$

deci $A_n \to 0$ pentru $n \to \infty$. Aceeaşi lege este valabilă şi în caz de declanşare, ajutînd ca temperatura să nu scadă brusc.

## Concluzii

— Sintetizînd cele expuse, se poate construi graficul din figura 19, în care se arată comparativ reducerea înălţimii în funcţie de metodele utilizate. Se observă că cea mai eficientă măsură este cea de prevedere a unei pompe de prealimentare, celelalte fiind sensibil apropiate între ele ca efect.

— Valoarea minimă a înălţimii de sarcină, capacitatea utilă a rezervorului, precum şi viteza apei în conducta de aspiraţie sînt legate între ele. Dacă una dintre mărimi nu este fixată, ea poate fi aleasă liber, în limitele condiţiilor menţionate anterior.

— Consideraţiile referitoare la traseul conductei de aspiraţie arată în particular că riscul de cavitaţie poate fi redus datorită în special execuţiei racordului la rezervor, precum şi datorită eliminării tronsoanelor orizontale în partea superioară a conductei.

— Efectul-tampon al rezervorului de apă de alimentare în general și în particular, în cazul declanșării este important, dar se remarcă aici faptul că el are și rolul de a amortiza variațiile

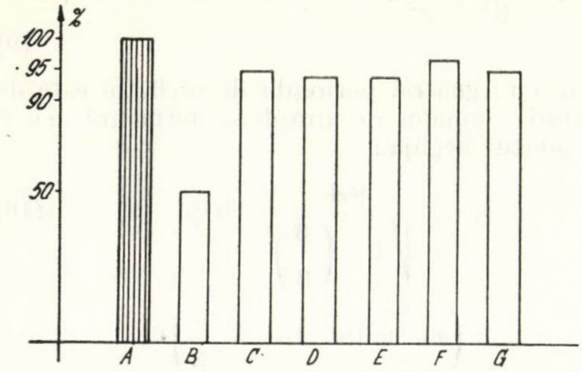



Fig. 18. Reducerea de înălțime în funcție de metoda utilizată.

*A* — referință (înălțimea fără nici o măsură); *B* — prevederea de pompe de alimentare; *C* — reducerea pierderilor de presiune; *D* — scurtarea traseului; *E* — mărirea volumului rezervorului; *F* — conducerea directă a apei în aspirație; *G* — prevederea diafragmei de laminare (valori minime).

perturbatoare periodice ale temperaturii apei din rezervor [2], ca urmare a variației temperaturii apei la intrarea în degazor, cum s-a arătat. Creșterea capacității rezervorului permite micșorarea valorilor perturbațiilor. Efectul de amortizare a acestor perturbații se realizează și prin utilizarea mai multor rezervoare în serie, rezervoare cu niveluri de apă diferite.

— Reducerea înălțimii de amplasare a degazorului este deci tehnic posibilă prin adoptarea măsurilor respective, dar alegerea uneia sau a alteia dintre soluții este exclusiv o problemă economică.

— Dintre măsurile analizate cele mai frecvente sînt prevederea pompei de prealimentare, utilizarea răcitoarelor de apă, utilizarea injecției de apă rece în aspirația pompelor. Măsuri ca introducerea unei suprafețe în degazor, compartimentarea degazorului, mărirea capacității sale etc. sînt utilizate în Europa mai mult cu titlu experimental.

— În cazul amplasării degazorului la cota de deservire a grupului în sala mașinilor (tendința modernă) sînt necesare totdeauna două măsuri, în cazul grupurilor de mare putere, în primul rînd prevederea unei pompe de prealimentare și apoi a uneia din măsurile enumerate anterior. De obicei se prevede alimentarea cu abur a degazorului din bara de abur viu sau de la eșaparea CIP al turbinei.

Singura problemă deosebită în acest caz este cea a automatizării alimentării degazorului.

Desigur, măsurile enumerate nu epuizează întreaga gamă de posibilități tehnice, dar ele pot îndeplini și condițiile economice în etapa actuală de cunoaștere și capacitate tehnică de realizare.

**Bibliografie**


[1] G a g e, A. *Criteriul condițiilor de aspirație a pompelor de alimentare.* Al IV-lea Congres Internațional de Încălzire Industrială, 1952.

[2] O p l a t k a, G. *Sur la disposition des bâches alimentaires et des conduites d'aspiration dans les centrales éléctriques à vapeur.* În: Revue Brown Boveri, tom 46, nr. 7, 1959.

[3] P r a d e l, M. Y. și G o d a r d, M. H. *Expérience acquise dans l'utilisation des pompes alimentaires et des leurs circuits annexes sur les tranches thermiques de grande puissance.* În: Mécanique-Eléctricité, tom 51, nr. 220, 1968.

[4] P f l e i d e r e r, K. *Die Kraiselpumpen für Flüssigkeiten und Gase.* Springer—Verlag, Berlin, 1955.

[5] N e u m a i e r, R. *Handbuch neuzeitlicher Pumpenanlagen,* Lederle OHG, Freiburg, 1966.

[6] L e s c o e u r, H. *Aspirația pompelor de alimentare. Cavitația în regim tranzitoriu.* În: Revue Générale de Thermique, vol. IV, nr. 68, 1967.

[7] N a b i j o v i c i, A. *Determinarea diametrului optim al conductei de aspirație a pompei de alimentare.* În: Energetica, nr. 7, 1970.

[8] L a n g e, F. *Kesselspeisepumpen—Zulaufsyistem bei gleitendem Entgaserdruck,* In: BWK, vol. 23, nr. 7, 1971.


(Articol intrat în redacție la 7 aprilie 1971)

# CRONICA

## Conferința pe țară a inginerilor și tehnicienilor

La 19 mai 1972, în sala Ateneului Român din Capitală, au început, în prezența tovarășului NICOLAE CEAUȘESCU, secretarul general al Partidului Comunist Român, Președintele Consiliului de Stat al Republicii Socialiste România, lucrările Conferinței pe țară a inginerilor și tehnicienilor, un eveniment deosebit de important din viața intelectualității tehnice românești.

La ședința de deschidere a lucrărilor Conferinței au fost de asemenea de față și ceilalți conducători de partid și de stat, membri ai C.C. al P.C.R., ai guvernului, conducători de instituții centrale, cadre didactice din învățămîntul tehnic superior, muncitori-inovatori.

Înscriindu-se în sfera acțiunilor întreprinse în întîmpinarea Conferinței Naționale a P.C.R. din iulie, forumul inteligenței tehnice românești a reunit 800 de delegați și invitați din întreprinderi și centrale industriale, de pe șantiere de construcții, din agricultură și din alte sectoare ale economiei, reprezentînd pe cei peste 280 mii de ingineri și tehnicieni din România, care, printr-o muncă rodnică își entuziastă în producție, cercetare-dezvoltare, proiectare și învățămînt, se dovedesc organic legați de popor, de năzuințele sale, profund atașați politicii partidului.

Timp de 3 zile, delegații au analizat activitatea desfășurată de Consiliul Național al Inginerilor și Tehnicienilor, de organismele sale din întreprinderi și județe în perioada care a trecut de la ultima conferință și pînă în prezent, au dezbătut multilateral, cu răspundere și competență, sarcinile ce revin pentru viitor cadrelor tehnico-inginerești în înfăptuirea însuflețitorului program de făurire a societății socialiste multilateral dezvoltate, elaborat de Congresul al X-lea al P.C.R.

Conferința a stabilit sarcinile și căile practice menite să asigure creșterea contribuției inginerilor și tehnicienilor români la dezvoltarea și modernizarea economiei, la sporirea și perfecționarea continuă a producției materiale, la promovarea susținută a progresului tehnico-științific în industrie, agricultură și celelalte ramuri ale producției materiale, aplicarea pe scară largă a cuceririlor științei contemporane, introducerea și extinderea procedeelor și tehnologiilor moderne, asigurarea de noi produse și ridicarea continuă a nivelului calitativ al celor existente, organizarea științifică a producției și a muncii, valorificarea superioară a resurselor materiale și umane, creșterea eficienței activității în toate domeniile, în vederea sporirii mai rapide a avuției naționale, a venitului național.

Lucrările Conferinței au fost deschise de prof. ing. Constantin Dinculescu.

Întîmpinat cu furtunoase aplauze, cu ovații și urale, a luat cuvîntul tovarășul NICOLAE CEAUȘESCU. În expunerea sa, secretarul general al partidului a evidențiat meritele incontestabile ale inginerilor și tehnicienilor în edificarea noii noastre societăți, a prezentat succint sarcinile de viitor ale intelectualității tehnice românești, a cerut delegaților la conferință să mobilizeze pe locurile lor de producție pe toți oamenii muncii pentru a-și îndeplini exemplar sarcinile ce le revin din vastul program de dezvoltare a patriei noastre — program ce corespunde pe deplin intereselor vitale ale întregului popor, făuririi societății socialiste multilateral dezvoltate, creării condițiilor pentru victoria comunismului pe pămîntul României.

Cuvîntarea a fost subliniată în repetate rînduri de aplauze.

Prof. ing. Constantin Dinculescu, după ce a mulțumit secretarului general al partidului pentru îndrumările date, pentru aprecierile sale, a prezentat Raportul asupra activității desfășurate de C.N.I.T. și cu privire la sarcinile intelectualității tehnice pentru înfăptuirea programului de înflorire continuă a României, adoptat de Congresul al X-lea al P.C.R.

În cele 12 secții și comisii au avut loc pînă la 21 mai dezbateri fructuoase, la care au luat cuvîntul 192 de delegați și invitați. În cursul lucrărilor au luat cuvîntul și o parte din delegații Ministerului Energiei Electrice: Albert H. (I.S.P.E.), Cristea Dumitru (I.R.E. — Craiova), Spulber Nicolae (I.R.E. — Brașov), Popovici Eusebiu (Grup șantiere Lotru), Nicolau Gheorghe (I.R.E.B), C. Fulga (IEC București), care s-au referit la activitatea inginerilor și tehnicienilor din sectorul energetic în domeniul siguranței în funcționare a sistemului, al introducerii tehnicii de calcul în conducerea acestuia, al necesității informării și documentării cît mai complete pentru a se putea ține pasul cu progresul tehnico-științific.

În ședința plenară Conferința a aprobat în unanimitate Statutul C.N.I.T. din R. S. România și a adoptat textul Rezoluției Conferinței, document care stabilește orientările fundamentale ale activității C.N.I.T., a comisiilor sale și a cadrelor noastre tehnico-inginerești, pe care îl publicăm în continuare.

S-au ales apoi, prin vot secret, Consiliul Național al Inginerilor și Tehnicienilor, compus din 187 de membri și 22 de supleanți, Colegiul pentru problemele eticii profesionale a C.N.I.T., precum și comisia de cenzori.

Noul președinte al C.N.I.T. este prof. dr. ing. Oliviu Rusu.

Conferința s-a încheiat într-o atmosferă însuflețitoare, exprimînd angajarea totală a intelectualității noastre tehnice în realizarea sarcinilor cantitativ și calitativ superioare ale cincinalului 1971—1975, în a-și spori contribuția la munca rodnică și entuziastă a întregului nostru popor pentru îndeplinirea obiectivelor stabilite de Congresul al X-lea al P.C.R.

# Rezoluţia

## Conferinţei pe ţară a inginerilor şi tehnicienilor

Conferinţa pe ţară a inginerilor şi tehnicienilor, întrunită în zilele de 19—21 mai a.c., a analizat contribuţia intelectualităţii tehnice la marile realizări obţinute de poporul nostru şi a stabilit sarcinile ce revin cadrelor tehnice pentru înfăptuirea, alături de toţi oamenii muncii, a programului de construire a societăţii socialiste multilateral dezvoltate, adoptat de Congresul al X-lea al Partidului Comunist Român.

Cu entuziasm, conferinţa şi-a exprimat adeziunea deplină la ampla cuvîntare rostită de tovarăşul NICOLAE CEAUŞESCU—secretarul general al Partidului Comunist Român, preşedintele Consiliului de Stat — care, apreciind valoroasa participare a inginerilor, economiştilor, tehncienilor şi a celorlalţi specialişti în construcţia socialistă a ţării, a trasat liniile directoare în desfăşurarea activităţii intelectualităţii tehnice de promovare largă a progresului tehnic în toate domeniile, creşterea rolului şi răspunderii acesteia în viaţa economică şi socială a patriei noastre.

Intelectualitatea tehnică, prin reprezentanţii săi la conferinţă, s-a angajat să transpună în fapte orientările de mare importanţă şi sarcinile concrete privind dezvoltarea activităţii de creaţie originală, aplicarea cu consecvenţă şi operativitate a cuceririlor ştiinţei şi tehnicii, valorificarea cu maximum de eficienţă a resurselor materiale şi a potenţialului uman, astfel încît, într-un timp cît mai scurt, România să ajungă la nivelul ţărilor dezvoltate.

Conferinţa a aprobat activitatea Consiliului Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor.

Activitatea obştească a inginerilor şi tehnicienilor, desfăşurată sub conducerea organizaţiilor de partid, în cadrul şi sub îndrumarea sindicatelor, a contribuit la rezolvarea sarcinilor politice, economice şi sociale puse de partid în faţa poporului în etapa actuală a făuririi societăţii socialiste multilateral dezvoltate în patria noastră.

Consiliul Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor, îndrumat de Consiliul Central al Uniunii Generale a Sindicatelor, colaborînd cu comitetele uniunilor sindicatelor pe ramuri, ministerele şi organele centrale de stat, a desfăşurat o activitate susţinută în vederea modernizării tehnicii şi organizării producţiei, perfecţionării pregătirii cadrelor, stimulării creaţiei tehnice originale şi afirmării ei peste hotare.

În activitatea inginerilor şi tehnicienilor şi a C.N.I.T. s-au manifestat şi unele neajunsuri. Criticile făcute în cadrul conferinţei în legătură cu neajunsurile privind activitatea economică din întreprinderi oglindesc şi slaba activitate a unor comisii ale inginerilor şi tehnicienilor. O lungă perioadă de timp multe comisii, atrăgînd un număr redus de cadre tehnice, au desfăşurat o activitate formală, limitată la preocupări minore. În mică măsură au fost antrenaţi în munca obştească economişti, tehnicieni, maiştri şi muncitori fruntaşi, precum şi cadrele tehnice din agricultură.

Biroul Consiliului Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor nu a îndrumat şi sprijinit în suficientă măsură comisiile inginerilor şi tehnicienilor şi nu a urmărit aplicarea în producţie a concluziilor reieşite din acţiunile şi manifestările organizate împreună cu ministerele economice.

Conferinţa apreciază că sarcinile puse de Congresul al X-lea al partidului privind îndeplinirea planului cincinal pe perioada 1971—1975, de hotărîrile Comitetului Central al P.C.R. şi cuprinse în cuvîntarea tovarăşului NICOLAE CEAUŞESCU la deschiderea Conferinţei pe ţară a inginerilor şi tehnicienilor constituie un vast program de muncă pentru cadrele tehnico-inginereşti. Datoria patriotică fundamentală a intelectualităţii tehnice este de a milita permanent, cu devotament şi pasiune, sub conducerea organelor şi organizaţiilor de partid, pentru îndeplinirea ritmică a Planului de stat în fiecare ramură a economiei naţionale, la toţi indicatorii, pentru valorificarea superioară a resurselor materiale şi a potenţialului uman, pentru ridicarea eficienţei întregii ativităţi economice.

1. Înfăptuirea măreţelor obiective de dezvoltare a patriei noastre pune cu acuitate problema valorificării superioare a resurselor materiale şi a potenţialului uman. Pentru economia noastră, problema esenţială în actualul cincinal şi în cincinalele următoare este de a obţine o creştere substanţială a ponderii produselor cu un grad de prelucrare superioară, care înmagazinează o cantitate mai mare de muncă, de inteligenţă tehnică, şi, în acelaşi timp, duc la un consum minim de materii prime şi materiale.

Pentru fiecare cadru tehnic reducerea cheltuielilor materiale de producţie în actualul cincinal constituie o sarcină de mare răspundere profesională. Reducerea consumurilor de materii prime, materiale, energie pe unitate de produs, prin stabilirea unor consumuri specifice pe baze ştiinţifice, respectarea proceselor tehnologice, introducerea şi generalizarea tehnologiilor moderne, reproiectarea unor produse, înlăturarea pierderilor tehnologice, folosirea deşeurilor şi înlocuitorilor etc. constituie un cîmp larg de afirmare a capacităţii profesionale a colectivelor de ingineri, tehnicieni şi a celorlalte cadre din fiecare întreprindere şi unitate economică. Sprijinite de sindicate, comisiile inginerilor şi tehnicienilor trebuie să organizeze dezbateri largi cu cadrele de ingineri, tehnicieni, economişti, maiştri şi muncitori fruntaşi, pentru a analiza costurile materiale de producţie în comparaţie cu realizările obţinute pe plan mondial, pentru a veni cu propuneri şi soluţii concrete în vederea unei judicioase folosiri a materiilor prime, materialelor, energiei, în scopul valorificării la un nivel superior a resurselor existente şi eliminării risipei de bunuri materiale.

2. Cadrele tehnice din toate ramurile economiei naţionale au datoria să se preocupe de creşterea substanţială a productivităţii muncii, condiţie primordială a sporirii avuţiei şi venitului naţional şi a ajungerii din urmă a ţărilor dezvoltate.

Ca organizatori ai producţiei şi ai muncii, inginerii, tehnicienii, toţi specialiştii, ajutaţi de comisiile inginerilor şi tehnicienilor sînt chemaţi să analizeze cum sînt folosite mijloacele de producţie, fondul de timp din fiecare întreprindere, secţie şi loc de muncă, să stabilească şi să aplice măsuri concrete care să ducă la folosirea integrală a timpului de lucru, mecanizarea şi automatizarea lucrărilor cu volum mare de muncă, reducerea pierderilor de timp datorită întreruperilor accidentale ale maşinilor şi utilajelor.

3. În condiţiile revoluţiei ştiinţifice şi tehnice contemporane, intelectualitatea tehnică din ţara noastră trebuie să considere ca o îndatorire patriotică, de înaltă responsabilitate profesională, sarcina de a milita neobosit pentru însuşirea şi aplicarea realizărilor actuale ale progresului tehnic, pentru ridicarea rolului ştiinţei şi tehnicii româneşti în soluţionarea problemelor complexe pe care le ridică programul de dezvoltare rapidă a economiei naţionale.

Comisiile inginerilor şi tehnicienilor să mobilizeze cadrele tehnice din institutele de cercetări, proiectări, institutele de învăţămînt superior, compartimentele de concepţie şi laboratoarele din uzine pentru realizarea în termen şi în condiţii de înaltă tehnicitate şi eficienţă economică a planurilor tehnice, a programelor de cercetare ştiinţifică şi de proiectare. Consiliul Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor, prin secţiile sale de specialitate şi comisiile inginerilor şi tehnicienilor, să acţioneze pentru conlucrarea strînsă şi creatoare între cadrele din cercetare,

proiectare şi cele din întreprinderi în vederea scurtării perioadei pînă la aplicarea în producţie a rezultatelor cercetării şi modernizarea proceselor din întreprindere.

Comisiile inginerilor şi tehnicienilor trebuie să considere ca o sarcină de onoare dezvoltarea mişcării de masă a inovatorilor şi inventatorilor, asigurarea asistenţei tehnice în rezolvarea propunerilor, aplicarea în producţie şi generalizarea inovaţiilor şi invenţiilor.

Consiliul Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor să analizeze periodic, împreună cu C.N.Ş.T., ministerele şi celelalte organe de stat, modul cum sînt aplicate rezultatele cercetării ştiinţifice, invenţiile şi inovaţiile, să ia poziţie împotriva inerţiei care se manifestă în unele sectoare, pentru aplicarea rapidă în producţie a acestora.

4. Munca de creaţie a inginerilor şi tehnicienilor poate fi materializată cu eficienţă pentru producţie în acţiunea de autoutilare a întreprinderilor, pentru conceperea şi realizarea de noi maşini şi utilaje, modernizarea celor existente, introducerea de dispozitive şi mecanisme de mare randament.

Comisiile inginerilor şi tehnicienilor, pe baza unor largi consultări cu cadrele tehnice şi muncitorii, trebuie să-şi sporească contribuţia la elaborarea şi aplicarea unor programe cuprinzătoare de autoutilare ; să determine conducerile întreprinderilor să asigure o documentare corespunzătoare asupra celor mai noi tipuri de maşini existente pe plan mondial ; să militeze pentru adoptarea unor soluţii de maximă eficienţă, care să asigure înzestrarea tehnică superioară a unităţilor şi reducerea necesităţilor din import.

5. Un domeniu important în care sînt chemate să-şi aducă o contribuţie sporită cadrele tehnice îl constituie perfecţionarea continuă a organizării producţiei şi a muncii.

Inginerii şi tehnicienii, ceilalţi specialişti din întreprinderi, sînt chemaţi să participe la identificarea şi valorificarea rezervelor din întreprinderi în vederea optimizării folosirii mijloacelor tehnice şi a forţei de muncă.

Rezerve importante există în întreprinderi în domeniul conducerii şi planificării producţiei, aprovizionării tehnico-materiale, programării producţiei, raţionalizării fluxurilor de fabricaţie, folosirii depline a capacităţilor de producţie şi a forţei de muncă ş.a.

C.N.I.T. şi comisiile inginerilor şi tehnicienilor au îndatorirea de a contribui la folosirea completă a mijloacelor moderne de prelucrare automată a datelor şi de a sprijini pregătirea cadrelor destinate să lucreze în unităţile şi centrele de calcul.

6. Una dintre principalele sarcini ce revin cadrelor tehnice o constituie ridicarea gradului de utilizare a maşinilor, utilajelor şi instalaţiilor.

Chemarea adresată în Conferinţa pe ţară a cadrelor de conducere din întreprinderi, centrale industriale şi de construcţii ,,Nici o maşină şi nici un utilaj sub randamentul planificat, nici un minut nelucrat'', trebuie considerată ca o îndatorire fundamentală pentru fiecare inginer şi tehnician.

C.N.I.T. şi comisiile inginerilor şi tehnicienilor trebuie să-şi aducă o contribuţie efectivă la găsirea şi aplicarea unor măsuri pentru o mai bună încărcare a maşinilor, instalaţiilor şi agregatelor, îmbunătăţirea activităţii sectoarelor de sculărie, întreţinere şi reparare a utilajelor şi maşinilor, creşterea coeficientului de schimburi prin generalizarea schimbului II şi extinderea schimbului III, asigurarea asistenţei tehnice corespunzătoare, valorificarea mai deplină a forţei de muncă şi a timpului de lucru.

7. Realizarea unor produse de înalt nivel calitativ, cu caracteristici tehnice şi funcţionale superioare, trebuie să constituie o datorie de cinste, de mîndrie profesională a fiecărui inginer, tehnician şi muncitor din toate întreprinderile. Comisiile inginerilor şi tehnicienilor trebuie să-şi aducă contribuţia la înnoirea şi modernizarea producţiei, perfecţionarea tehnicilor şi tehnologiilor de fabricaţie, realizarea unor produse de înalt nivel calitativ în toate ramurile, competitive pe piaţa internă şi externă, care să asigure o valorificare superioară a resurselor materiale ale ţării.

Ţinînd seama de răspunderea cadrelor tehnice în organizarea controlului de calitate, comisiile vor trebui să desfăşoare o vastă muncă educativă de întărire a răspunderii personale faţă de calitatea produselor realizate, de extindere a autocontrolului.

În industria bunurilor de consum, comisiile inginerilor şi tehnicienilor au datoria să acţioneze în principal pentru perfecţionarea tehnologiilor, diversificarea produselor şi întărirea controlului de calitate.

C.N.I.T., comisiile judeţene ale inginerilor şi tehnicienilor şi comisiile inginerilor şi tehnicienilor din întreprinderi sînt chemate să organizeze, împreună cu Inspectoratul de stat al calităţii şi alte organe de stat centrale şi locale, dezbateri, schimburi de experienţă, consfătuiri şi alte acţiuni în scopul îmbunătăţirii calităţii produselor, să participe activ la organizarea controlului obştesc pentru calitate, manifestînd o maximă exigenţă în respectarea cu stricteţe în toate fazele de fabricaţie a disciplinei tehnologice.

8. Organizarea modernă a producţiei şi a muncii presupune şi asigurarea unor măsuri tehnice şi organizatorice care să garanteze condiţii corespunzătoare de protecţie a muncii şi educarea salariaţilor în spiritul respectării stricte a normelor de tehnica securităţii şi igiena muncii. Comisiilor inginerilor şi tehnicienilor le revine îndatorirea să determine cadrele tehnice ca la fiecare loc de muncă, în fiecare secţie să fie luate cele mai eficace măsuri care să evite accidentele de muncă şi îmbolnăvirile profesionale. Comisiile să acţioneze pentru eliminarea zgomotelor şi vibraţiilor, asigurarea unei ventilaţii şi a unui iluminat igienic, combaterea poluării aerului şi apelor în interiorul şi în afara întreprinderilor, reducerea efortului fizic ş.a., astfel încît oamenii muncii să beneficieze de cele mai bune condiţii de muncă şi viaţă.

9. Conferinţa consideră că sarcini de răspundere revin inginerilor, tehnicienilor şi celorlalte categorii de salariaţi din întreprinderile de construcţii-montaj, institute de cercetări şi proiectări şi din unităţile care realizează utilaje tehnologice, pentru realizarea la termen şi la un nivel tehnic şi calitativ superior, a investiţiilor, pentru creşterea substanţială a eficienţei lor.

Comisiile inginerilor şi tehnicienilor din unităţile de construcţii şi montaj sînt chemate să-şi aducă o contribuţie concretă la luarea tuturor măsurilor pentru pregătirea temeinică a lucrărilor de investiţii, accelerarea ritmului de execuţie a construcţiilor, darea în termen în funcţiune a capacităţilor de producţie la parametrii proiectaţi.

Comisiile inginerilor şi tehnicienilor din unităţile de construcţii, din institutele de proiectare şi cercetare, să antreneze pe fiecare inginer şi tehnician la reducerea costului lucrărilor executate, extinderea folosirii proiectelor tip, pentru soluţii constructive simple, moderne, cu structuri uşoare şi economice, pentru dimensionarea construcţiilor la strictul necesar, sporirea gradului de industrializare a tuturor construcţiilor, folosirea pe scară largă a prefabricatelor şi mecanizarea lucrărilor, eliminarea finisajelor inutile.

10. Conferinţa cere ca inginerii şi tehnicienii din agricultura patriei noastre să-şi aducă întreaga lor contribuţie la creşterea în ritm susţinut a producţiei agricole prin raionarea corespunzătoare a culturilor, asigurarea seminţelor de înaltă productivitate, executarea la timp şi în bune condiţii a tuturor lucrărilor agricole, obţinerea de producţii legumicole ridicate ş.a. În acelaşi timp o atenţie deosebită trebuie acordată înfăptuirii programului naţional de dezvoltare a zootehniei, creşterii efectivelor şi ameliorării raselor de animale. Cadrele tehnice din agricultură au datoria să se

ocupe mai mult de realizarea programului de irigații și îmbunătățiri funciare, organizarea corespunzătoare a exploatării suprafețelor irigate.

Conferința cere Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor, Uniunii sindicatelor din agricultură și consiliilor județene ale sindicatelor să constituie comisii ale inginerilor și tehnicienilor în unitățile agricole socialiste, pentru a cuprinde în munca obștească totalitatea cadrelor tehnice din agricultură.

11. Realizarea cu succes a problemelor complexe ce le pune promovarea progresului tehnic, modernizarea economiei naționale, aplicarea realizărilor științei și tehnicii mondiale, impun o participare mai activă a comisiilor inginerilor și tehnicienilor, a Consiliului Național, la acțiunea de ridicare a pregătirii și perfecționării profesionale a fiecărui cadru tehnic, a muncitorilor, a tuturor salariaților.

Comisiile inginerilor și tehnicienilor sînt chemate să participe la elaborarea programelor și a tematicilor prevăzute de legea privind perfecționarea pregătirii profesionale și să dezvolte o activitate de perfecționare a cadrelor corelată cu cea desfășurată de organizațiile socialiste. C.N.I.T. și comisiile județene ale inginerilor și tehnicienilor trebuie să ajute mai mult activitatea comisiilor din întreprinderi pentru a contribui la îmbunătățirea planurilor de propagandă tehnică, generalizînd experiența unor comisii privind organizarea de lectorate, dezbateri, sesiuni tehnico-științifice pe specialități etc., în sprijinul informării cadrelor tehnice și a muncitorilor cu realizările obținute pe plan național și internațional.

Împreună cu ministerele, C.N.I.T. să sprijine comitetele de redacție ale revistelor tehnice în vederea îmbunătățirii conținutului acestora și a abordării celor mai stringente probleme cu care sînt confruntate întreprinderile și ramurile de producție, pentru generalizarea experienței valoroase, pentru asigurarea unei informări și documentări operative în concordanță cu realizările și noutățile tehnice din țară și de peste hotare.

Prin funcțiile de conducere ce ocupă în procesul de producție, cadrele tehnice sînt chemate să militeze pentru înfăptuirea politicii partidului nostru, aducîndu-și contribuția la activitatea de ridicare a nivelului politic și ideologic, de creștere a conștiinței socialiste a fiecărui salariat, la aplicarea vastului program de activitate pe tărîm ideologic izvorît din documentele plenarei C.C. al P.C.R. din 3—5 noiembrie 1971.

12. Îmbunătățirea continuă a activității comisiilor inginerilor și tehnicienilor și a C.N.I.T. cu masa largă a cadrelor tehnice sub îndrumarea sindicatelor contribuie la înfăptuirea măsurilor stabilite de partid privind perfecționarea relațiilor de producție, pe linia dezvoltării democrației socialiste, de participare activă, în strînsă unitate cu clasa muncitoare, a tuturor categoriilor de oameni ai muncii.

Centrul de greutate al activității obștești a inginerilor și tehnicienilor urmează să fie în întreprinderi și instituții.

Fiecare comisie a inginerilor și tehnicienilor trebuie să manifeste maximum de inițiativă și spirit de răspundere în stabilirea și realizarea obiectivelor, în jurul cărora să atragă cadrele tehnice și ceilalți specialiști, astfel încît activitatea să fie axată pe problemele esențiale ale producției. Toate problemele importante ce preocupă cadrele tehnice să fie în atenția permanentă a comisiilor inginerilor și tehnicienilor, care să urmărească ca tot ceea ce se propune pentru perfecționarea producției și organizarea muncii să fie valorificat de comitetele sindicatelor și în activitatea de decizie a comitetelor oamenilor muncii. În întreaga lor muncă, comisiile inginerilor și tehnicienilor să conlucreze strîns cu organizațiile U.T.C., cu celelalte comisii ale organizațiilor de partid și sindicale.

Comisiile județene ale inginerilor și tehnicienilor, prin atragerea celor mai competente cadre din județ, să devină foruri cu autoritate tehnică, sprijin de nădejde pentru organele de conducere locale.

Comisiile trebuie să organizeze generalizarea experienței pozitive din activitatea comisiilor inginerilor și tehnicienilor din întreprinderi, să organizeze acțiuni eficiente care să contribuie la sprijinirea schimbului de informații tehnice, de experiență, între cadrele tehnice de aceeași specialitate.

C.N.I.T. trebuie să devină un înalt for obștesc de dezbatere a problemelor fundamentale ale progresului tehnic și organizării științifice a producției, de atragere a cadrelor tehnice la înfăptuirea exemplară a hotărîrilor partidului și guvernului cu privire la perfecționarea activității în întreaga economie.

C.N.I.T. și comisiile inginerilor și tehnicienilor să participe la acțiunea de analiză a modului cum sînt folosite cadrele tehnico-inginerești în vederea elaborării de criterii pentru folosirea mai rațională a tuturor forțelor tehnico-științifice, în folosul întăririi activității de producție și concepție.

13. Apreciind oportunitatea constituirii în cadrul C.N.I.T. a Colegiului pentru problemele eticii profesionale, conferința cere ca el să militeze pentru creșterea prestigiului profesiunii de inginer și tehnician, pentru crearea unei opinii de masă în rîndul cadrelor tehnice în favoarea unei înalte ținute morale, de prevenire și eliminare a atitudinilor care nu se încadrează în normele eticii profesionale și socialiste.

14. Conferința pe țară a inginerilor și tehnicienilor a examinat activitatea internațională desfășurată de C.N.I.T. și a stabilit ca și în viitor acesta să aplice în relațiile cu organizațiile tehnico-științifice naționale și internaționale principiile politicii externe a Partidului Comunist Român și a guvernului, de largă colaborare și cooperare tehnico-științifică pe baza respectării independenței și suveranității naționale, egalității în drepturi, neamestecului în treburile interne și avantajului reciproc.

Consiliul Național al Inginerilor și Tehnicienilor să dezvolte legăturile cu asociațiile de ingineri și tehnicieni din toate țările socialiste, cu societățile naționale din celelalte țări dezvoltate sau în curs de dezvoltare, bazate pe principiile cooperării, schimbului de opinii, de experiență și de informații, a avantajului reciproc și a neimixtiunii în problemele interne ale fiecărei organizații.

Consiliul Național să-și aducă în continuare contribuția efectivă la activitatea organizațiilor tehnico-științifice internaționale la care este afiliat, pentru a folosi în mai mare măsură concluziile manifestărilor la care participă și să se afilieze la acele organizații internaționale a căror activitate prezintă interes pentru țara noastră.

Conferința exprimă întreaga adeziune a cadrelor tehnice față de politica externă a partidului și guvernului, întemeiată pe dezvoltarea relațiilor de prietenie și colaborare cu țările socialiste, de extindere a cooperării multilaterale cu toate statele, indiferent de orînduirea lor politică și socială, bazată pe principiile respectării independenței și suveranității naționale, egalității în drepturi, neamestecului în treburile interne și avantajului reciproc. Intelectualitatea tehnică susține poziția adoptată de partidul și statul nostru, de întregul popor, pentru încetarea războiului dus de Statele Unite ale Americii în Vietnam, pentru condamnarea noilor acte de escaladare a războiului de către imperialismul american împotriva R.D. Vietnam, pentru retragerea totală a forțelor Statelor Unite ale Americii din Indochina, pentru reglementarea conflictului din Orientul Apropiat în sprijinul Rezoluției Consiliului de Securitate din noiembrie 1967, organizarea în cel mai scurt timp a Conferinței general europene, consacrată securității și colaborării, pentru adoptarea de măsuri practice în domeniul dezarmării generale, în special a celei nucleare.

Cadrele tehnice din întreprinderi, institute de cercetare, proiectare, învățămînt sînt chemate să contribuie activ la traducerea în viață a tuturor acordurilor și înțelegerilor convenite cu țările africane vizitate recent de delegația țării noastre în frunte cu secretarul general al partidului, tovarășul NICOLAE CEAUȘESCU, privind dezvoltarea cooperării în domeniul minier, geologic, forestier, agricol, în pregătirea cadrelor pentru aceste țări și în acordarea asistenței tehnice.

Participanții la conferință exprimă hotărîrea și angajamentul unanim al cadrelor tehnice, însuflețite de ideile socialismului și de dragoste nețărmurită față de patrie, de a-și aduce cu devotament și abnegație o contribuție tot mai mare la valorificarea superioară a tuturor resurselor țării, la utilizarea intensivă a întregului potențial de producție al economiei noastre socialiste.

Inginerii și tehnicienii din țara noastră întîmpină Conferința Națională a Partidului — moment important pentru perfecționarea în continuare a conducerii și organizării societății socialiste—și a XXV-a aniversare a proclamării Republicii cu nemărginit entuziasm și hotărîre de a obține noi și importante succese în muncă. Ei se angajează să-și consacre întreaga energie și capacitate creatoare cauzei supreme a partidului, înfloririi vieții materiale și spirituale a celor ce muncesc în scumpa noastră patrie, România socialistă.

## DIN ISTORIA TEHNICII

# 100 DE ANI DE LA NAȘTEREA LUI TRAIAN VUIA

Poporul nostru cinstește la 17 august 1972 — alături de UNESCO și alte organizații mondiale — împlinirea a 100 de ani de la nașterea lui TRAIAN VUIA, inventatorul celei dintîi mașini de zbor mai grele decît aerul, care, la 18 martie 1906 — la Montesson, în Franța — s-a ridicat de la sol prin propriile sale mijloace mecanice, înscriind astfel o pagină de glorie în istoria aeronauticii universale.

În 1956, cu ocazia aniversării a 50 de ani de la primul său zbor, s-au publicat diverse materiale documentare, sub directa îndrumare a Dr. Petru Groza, vechi prieten al lui Traian Vuia.

Prin materialul de față intenționăm să facem cunoscute cititorilor o serie de materiale inedite, care se află în păstrarea Oficiului de documentare energetică — Muzeul tehnic ,,Prof. ing. D. Leonida'' din București, donate parte de familia Dr. Petru Groza și parte de prof. ing. D. Leonida.

Pe lîngă pregătirea sa tehnică, Traian Vuia a absolvit în 1901 Facultatea de drept din Budapesta, obținînd titlul de Doctor în științele juridice, fapt atestat prin diploma obținută, al cărei original se află în păstrarea Muzeului tehnic ,,Prof. ing. D. Leonida'' și a cărei fotocopie o reproducem în pagina următoare.

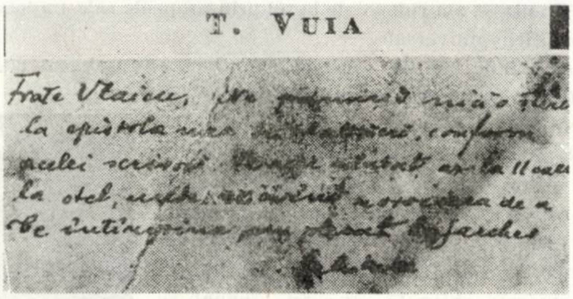
Demn de remarcat este faptul că între cei doi pionieri români ai aerului — Traian Vuia și Aurel Vlaicu — au existat legături de prietenie, colaborare și schimb de scrisori, din care redăm în pagina următoare o scurtă comunicare referitoare la o întîlnire prietenească.

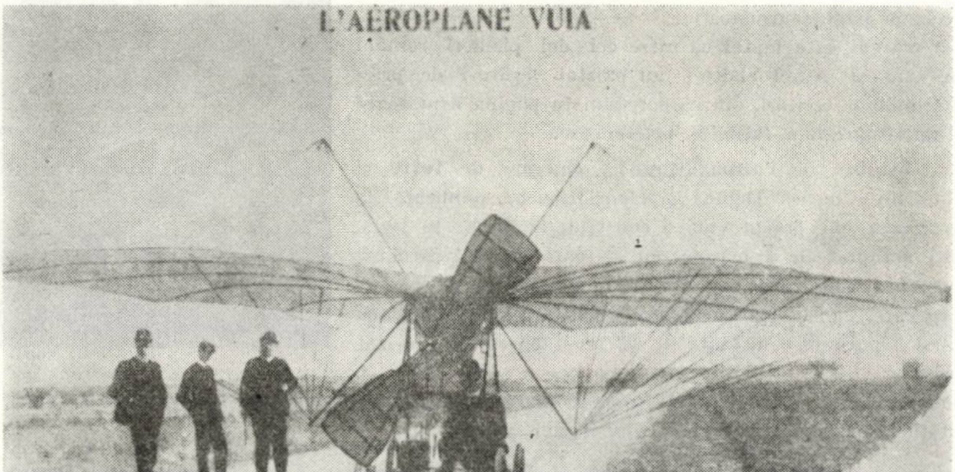
Lucrarea ,,Histoire de l'aéronautique'' — culegere de texte și documente aparținînd lui Charles Dollfus și Henri Bouché, publicată la Paris în 1932 — precizează că Traian Vuia a construit la Paris, în 1905, primul avion cu elice acționat de o mașină cu detentă cu acid carbonic lichid, de 15 CP, cu durată-limită de funcționare de 3 minute, cu pneuri de cauciuc, mașină cu care, la 18 martie 1906, s-a ridicat la o înălțime de 0,60 m de la sol și a parcurs o distanță de 12 m, după care a aterizat pe cîmp fără nici un șoc.

Considerăm că prin prezentarea acestui modest material documentar am adus o contribuție în cunoașterea mai adîncă a personalității marelui și valorosului inventator român.

Ing. **Ioan C. Mozeș**,
Oficiul de documentare energetică

ET ALMA AC CELEBERRIMA
REGIA SCIENTIARUM UNIVERSITAS HUNGARICA
LECTURIS SALUTEM.


T. VUIA


L'AÉROPLANE VUIA

# I.P.R.S. Băneasa

produce:

CONDENSATOARE ELECTROLITICE
- normale
- miniatură
- nepolarizate

CONDENSATOARE CERAMICE
- disc
- tubulare
- plachetă
- ajustabile

CABLAJE IMPRIMATE

TRANZISTOARE
- de joasă frecvenţă
- de înaltă frecvenţă şi comutaţie
- de putere

DIODE
- de semnal şi comutaţie
- redresoare
- redresoare pentru curenţi mari
- stabilizatoare de tensiune
- de putere cu siliciu

CIRCUITE INTEGRATE

REZISTOARE
- cu peliculă de carbon
- bobinate

TERMISTOARE
- ceramice

CONDENSATOARE
- polistiren (tip styroflex)
- poliester metalizat
- hîrtie metalizată
- hîrtie echipament auto
- hîrtie antiparazitare
- hîrtie pentru telefonie

## ÎNTREPRINDEREA DE PIESE RADIO ŞI SEMICONDUCTORI BĂNEASA

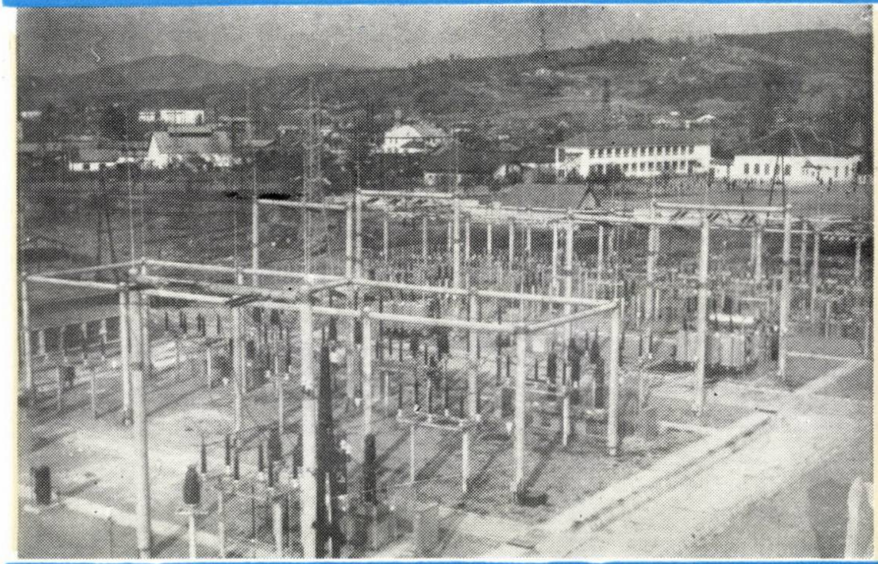
Str. Erou Iancu Nicolae nr. 32, BUCUREŞTI II — ROMÂNIA
Telefon 33.38.30 Telex 011.203 Serv. Desfacere 33.53.17

întreprinderea electromontaj cîmpina

CIMPINA, Str.Galați nr.12, Județul Prahova

INTREPRINDEREA ELECTROMONTAJ - CIMPINA îşi desfăşoară activitatea în 14 judeţe şi execută:

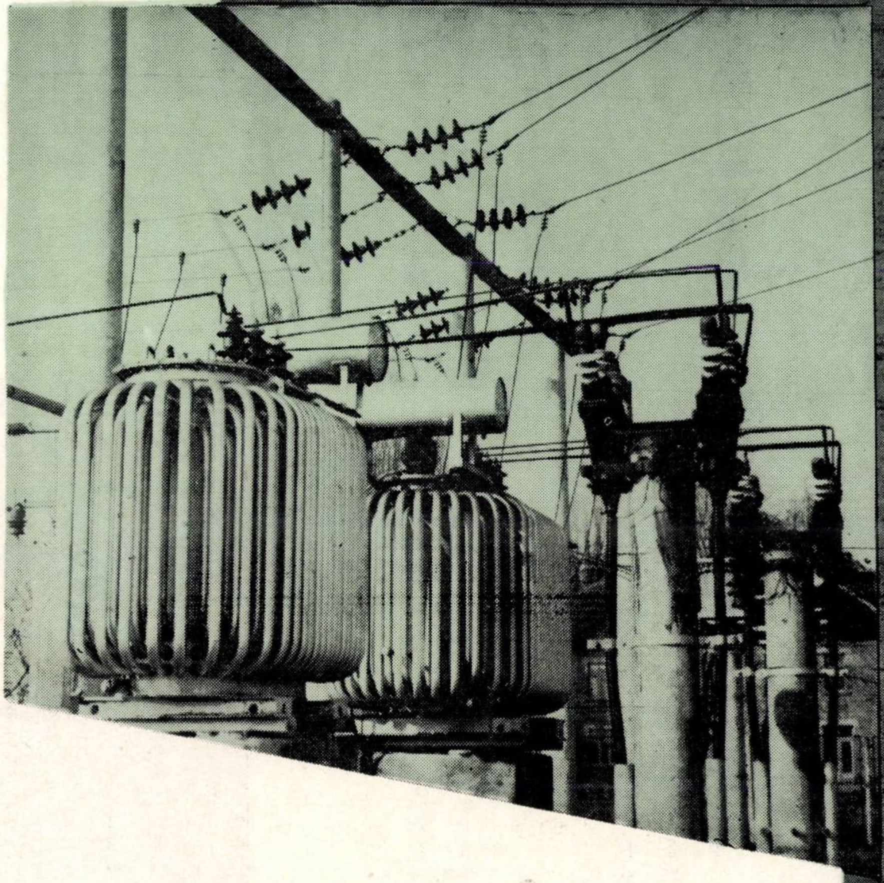
- Staţii electrice pînă la 400 kV;
- Posturi de transformare de orice mărime şi pentru orice raport de transformare;



- Linii electrice aeriene de transport şi distribuţie pentru tensiuni pînă la 400 kV;
- Linii electrice de distribuţie în cablu de înaltă, medie şi joasă tensiune;
- Electrificări rurale;
- Instalaţii de iluminat public,

# întreprinderea electromontaj cîmpina

- asigură o bună deservire a consumatorilor din sectorul industrial, agricol, de transporturi şi casnic din zonă
- execută reţele şi posturi de medie tensiune, branşamente şi instalaţii interioare în mediul urban şi rural
- proiectează reţele, posturi şi staţii de transformare pentru tensiuni pînă la 110 kV inclusiv, la orice categorie de consumatori
- electrificări rurale.

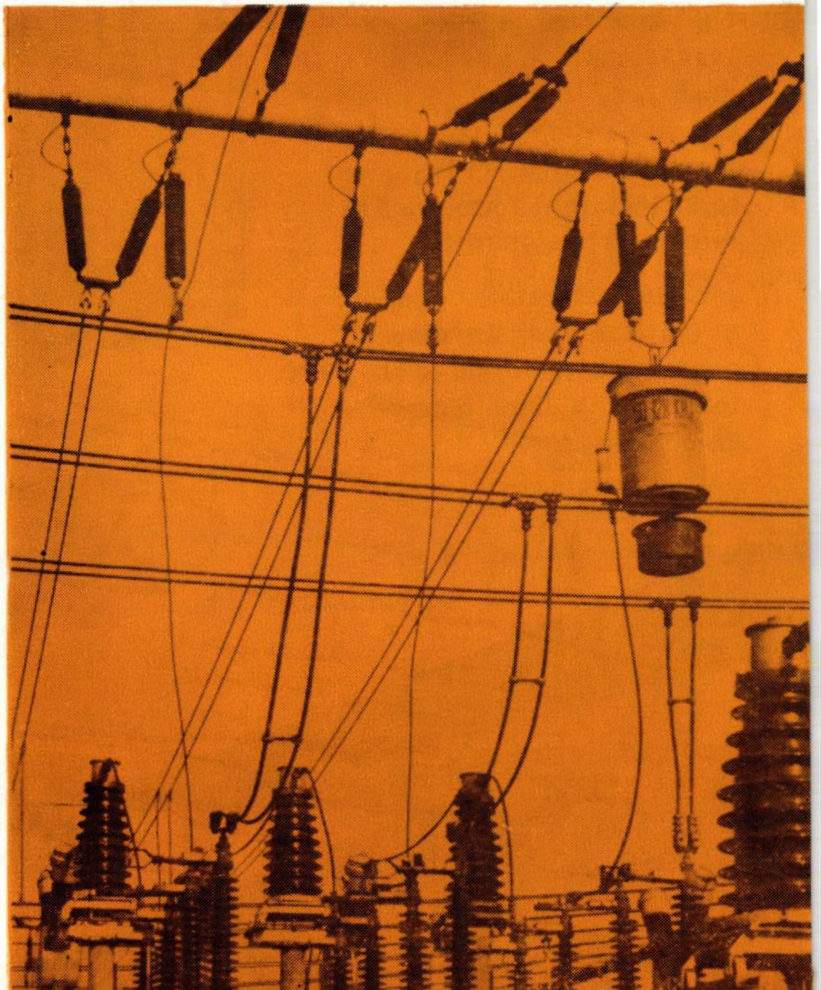


# I.R.E. BRAȘOV

Str. Republicii nr. 24
tel 11.43.0

# i.r.e. pitești

Str. Republicii Nr. 148



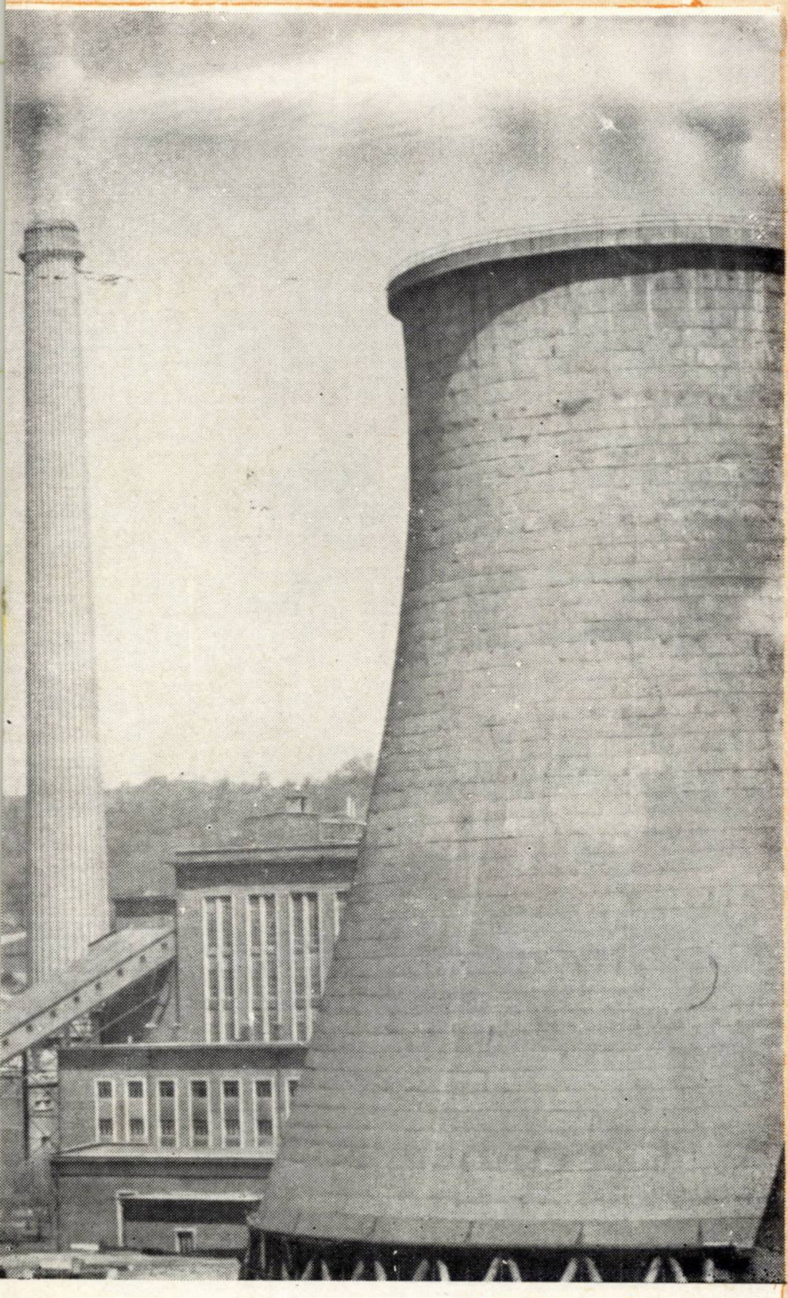
Proiectează, construieştei, întreţine şi exploatează prin unităţile sale instalaţiile electrice pentru transportul şi distribuţia energiei electrice din zonă:

- staţii şi posturi de transformare
- linii de transport şi distribuţie a energiei electrice;
- instalaţii electrice interioare atît pentru unităţile socialiste cît şi pentru particulari.

# i.e.c deva

INTREPRINDEREA
ELECTROCENTRALE DEVA MINTIA
Căsuţa poştală 75
Jud. Hunedoara

IEC DEVA - Termocentrala PAROSENI are o putere instalată de 300 MW şi este înzestrată cu instalaţii şi utilaje moderne, cu un înalt grad de automatizare, asigurînd producerea şi furnizarea energiei electrice sistemului electroenergetic naţional în condiţii de calitate şi siguranţă.



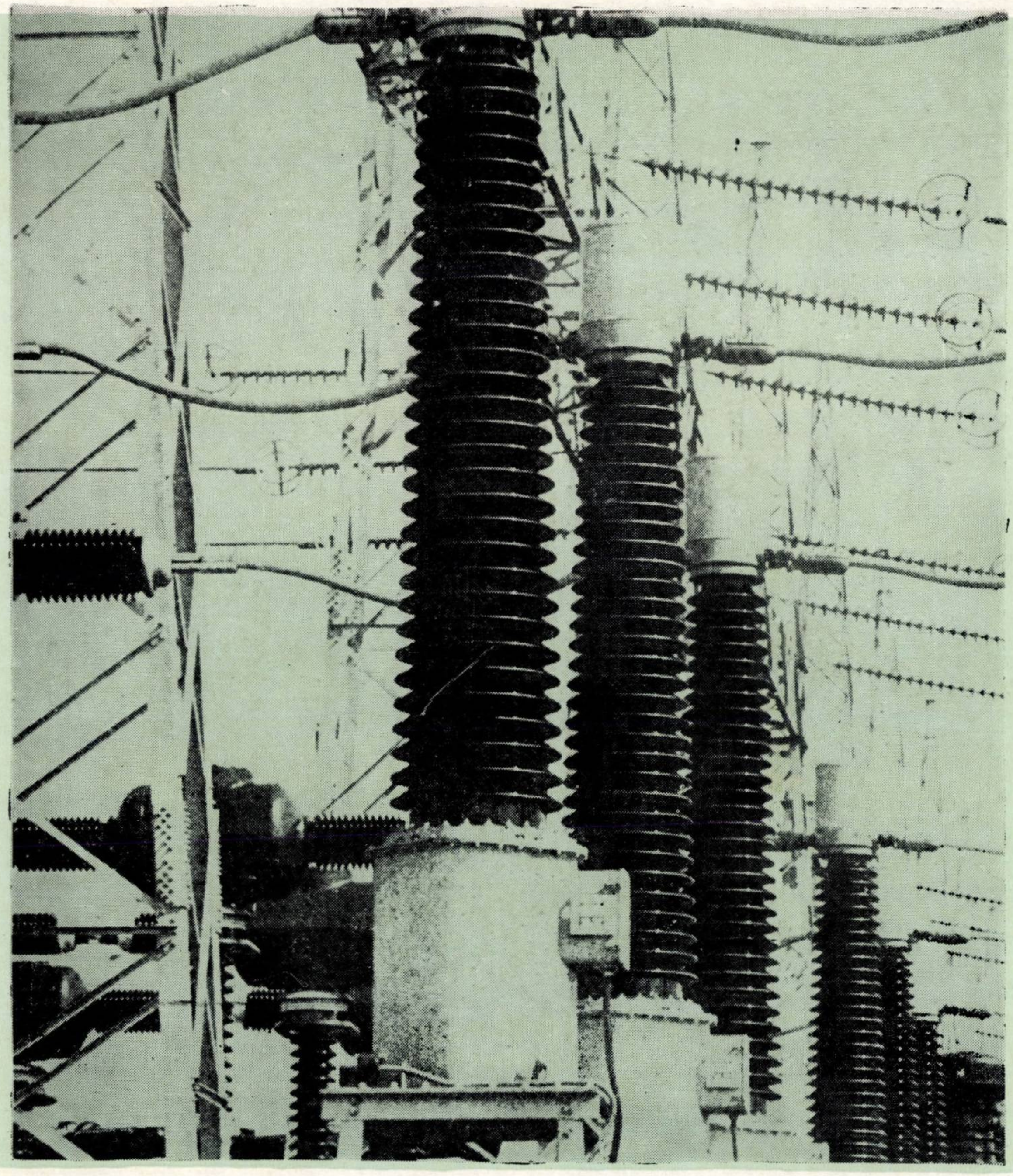
C T E - Paroşeni

IEC DEVA prin termocentralele sale - DEVA şi PAROSENI cu o putere totală instalată de 1140 MW, asigură necesarul de energie electrică şi termică pentru zona industrială a judeţului Hunedoara

iec constanța
Prin centralele sale, furnizează energie electrică sistemului energetic național, asigurînd o mare parte din necesarul de energie electrică al Dobrogei.
CET Palas, recent construită, are o putere totală instalată de 100 MW.
Prin această nouă centrală se asigură căldura necesară pentru zona industrială și urbană a municipiului Constanța și se ridică gradul de siguranță în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor din Dobrogea.
ÎNTREPRINDEREA ELECTROCENTRALE
CONSTANȚA, BD. AUREL VLAICU NR. 123

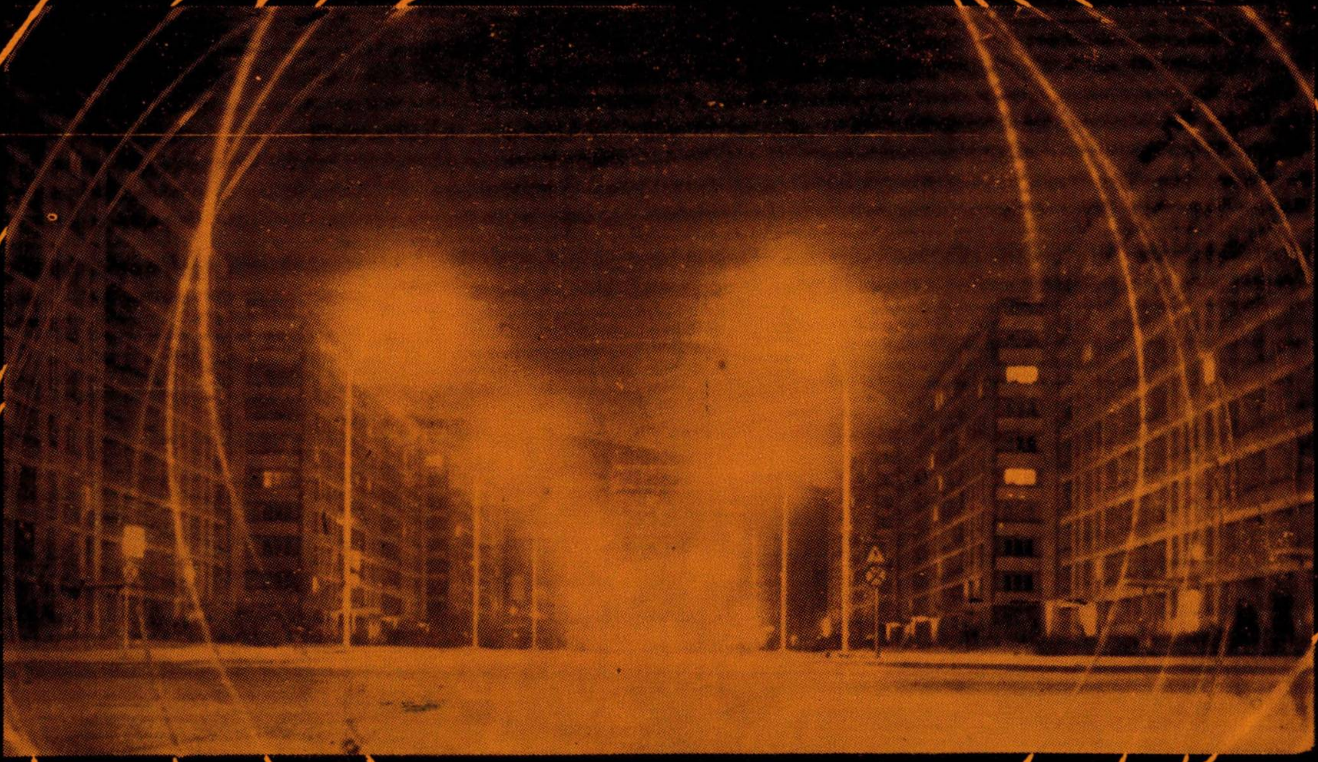
# I. R. E. TIMIŞOARA

P-ţa Romanilor nr. 11



- Asigură alimentarea cu energie electrică a consumatorilor din sectorul industrial, agricol, de transporturi şi casnic din zonă.
- Proiectează, execută şi exploatează instalaţii energetice în zona judeţelor: Arad, Timişoara şi Caraş-Severin.
- Execută verificări profilactice ale aparatajului electric şi verificări de protecţii prin relee.
- Realizează lucrări de instalaţii electrice interioare pentru populaţie şi pentru unităţi socialiste în mediu urban şi rural.
- Asigură întreţinerea şi reparaţia instalaţiilor de automatizări termice şi electrice.

# IRE PIATRA-NEAMȚ

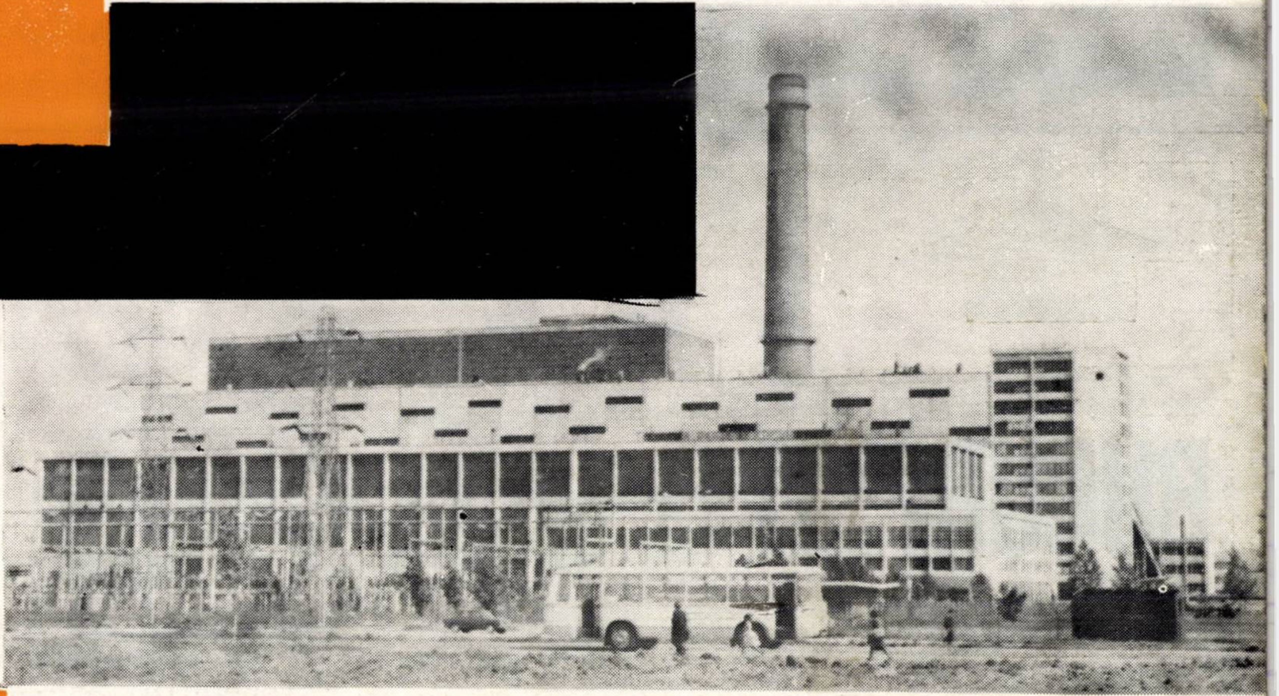


- Distribuie energie electrică la toate categoriile de consumatori de pe teritoriul jud.Neamț.
- Proiectează și execută prin unitățile sale:
  - instalații electrice de medie și joasă tensiune;
  - instalații electrice de iluminat;
  - instalații electrice interioare și branșamente.

ÎNTREPRINDEREA DE REȚELE ELECTRICE PIATRA-NEAMȚ

str. Parcurilor nr. 12 jud. Neamț

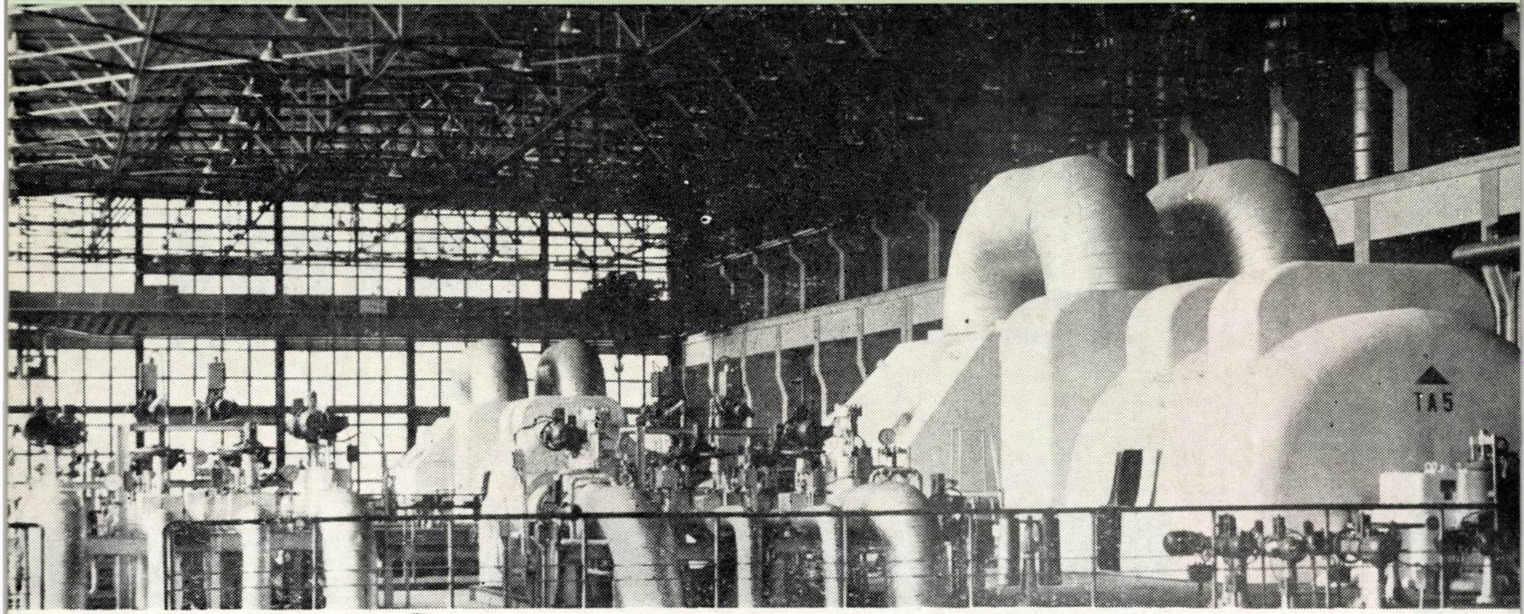
# I.E.C. ORADEA



CET Oradea, cu o putere totală instalată de 105 MW şi dispunînd de trei cazane de apă fierbinte de cîte 100 Gcal/h,asigură necesităţile de energie electrică şi căldură ale consumatorilor din municipiul Oradea şi împrejurimi, la un înalt grad de siguranţă şi calitate.

CET Arad, CET Timişoara şi CET Reşiţa furnizează căldură consumatorilor industriali şi ridică gradul de siguranţă în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor din zonele respective.

ÎNTREPRINDEREA ELECTROCENTRALE - ORADEA
Şos. Borşului,km 5



# IEC

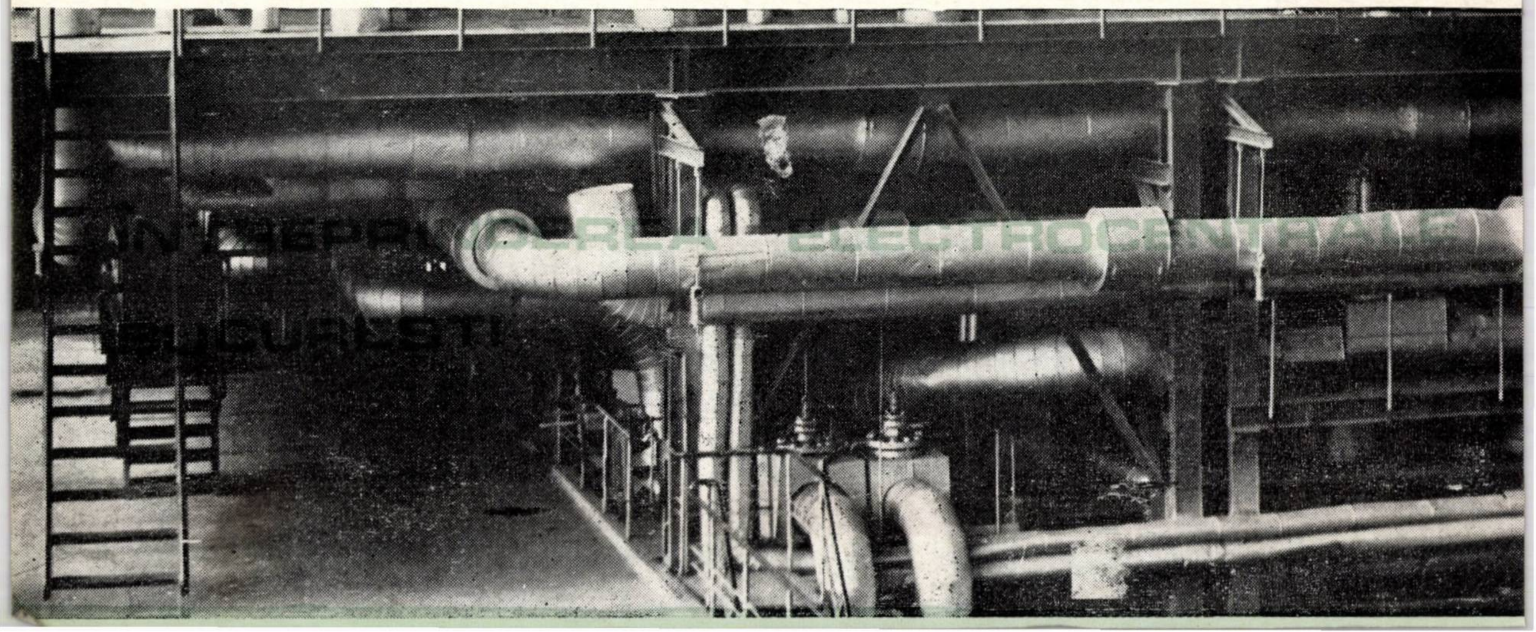
# BUCUREȘTI

Sector 7, Splaiul Independenței nr.229

tel.:13.08.39

Prin instalațiile sale de producere combinată sau separată a energiei electrice și termice, asigură furnizarea căldurii la calitatea cerută și cu un înalt grad de siguranță, noilor cartiere de locuințe și noilor platforme industriale, însumînd un consum total de peste 2 400 Gcal/h.

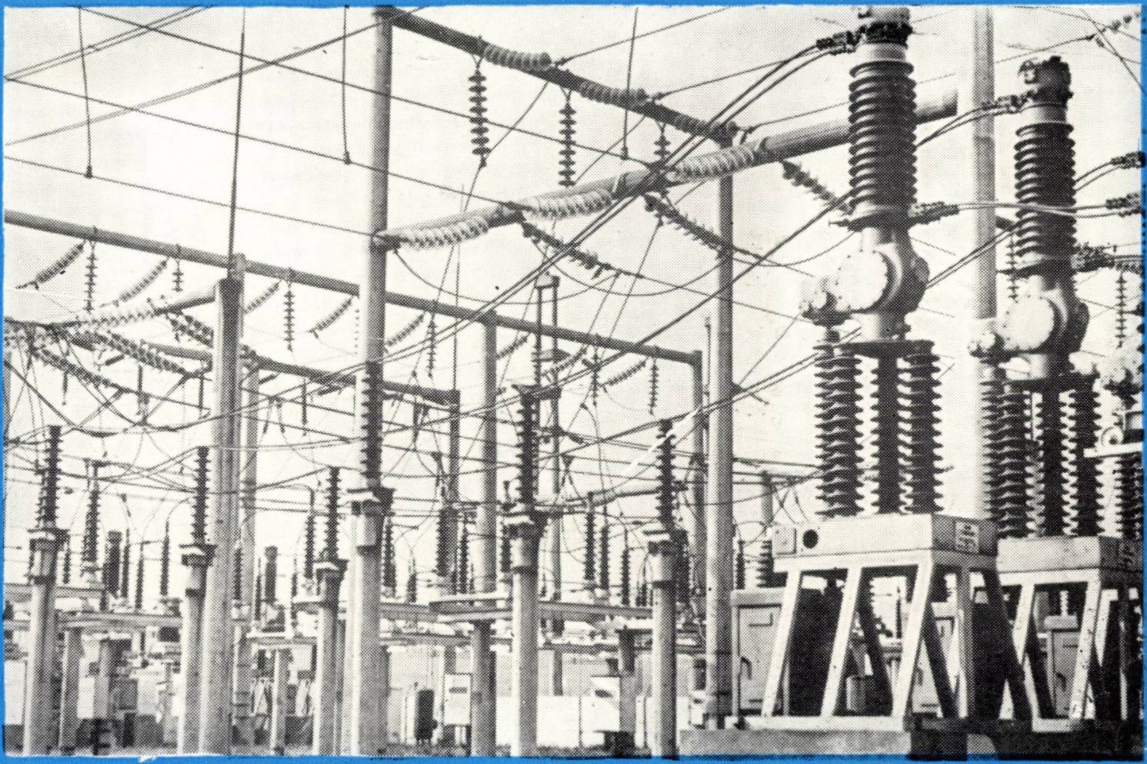
Furnizează energie electrică la parametrii nominali, sistemului energetic național și consumatorilor din capitală, cu capacități totalizînd peste 600 MW, prin stații electrice de 5 kV, 10 kV, 30 kV, 110 kV, 220 kV și 400 kV.



# I.R.E ORADEA

Str. Griviţei nr. 32

întreprinderea de reţele electrice



- TRANSPORTĂ SI DISTRIBUIE: energie electrică în reţelele electrice de înaltă, medie şi joasă tensiune.
- PROIECTEAZĂ:
  . posturi şi staţii de transformare
  . linii electrice aeriene şi subterane de transport şi distribuţie
  . instalaţii de iluminat.
- CONSTRUIESTE:
  . linii electrice aeriene şi subterane
  . linii electrice de medie tensiune şi posturi de transformare pentru electrificări rurale
- EXECUTĂ: instalaţii electrice interioare şi branşamente atît pentru unităţile socialiste cît şi pentru particulari.

# ICMP

ÎNTREPRINDEREA DE CONSTRUCȚII METALICE ȘI PREFABRICATE
BUCUREȘTI, Str. Acţiunii nr. 2, sector 5
telefon : 23 87 20

E X E C U T Ă :

- Celule metalice prefabricate de interior şi exterior 10 şi 20 kV pentru staţii de transformare;

- Celule metalice prefabricate de interior 10 şi 20 kV pentru posturi de transformare;

- Posturi de transformare metalice prefabricate de exterior de 10 şi 20 kV;

- Elemente de distribuţie şi conexiuni pentru posturi de transformare şi staţii electrice de transformare;

- Panouri de comandă, protecţie şi servicii proprii din staţiile electrice de transformare pînă la 400 kV;

- Stîlpi din beton armat centrifugat şi vibrat pentru linii electrice şi staţii electrice de transformare pînă la 220 kV;

- Cleme şi armături de racord, suspensie şi tracţiune pentru linii electrice şi staţii aeriene pînă la 400 kV şi linii electrice în cablu pînă la 20 kV;

- Elemente pentru legături electrice între grupuri generatoare şi transformatoare (ecrane cilindrice monofazate, ecrane trifazate, cutii de borne) de 5 000 A şi 10 000 A cu tensiuni pînă la 20 kV.

celpi

xécute :

- Le montage, la mise en fonction et la mise en exploitation des équipements et installations énergétiques pour centrales thermiques et hydro-électriques :

QUIPEMENTS ET INSTALLATIONS POUR CENRALES THERMIQUES ET CENTRALES POUR LA RODUCTION COMBINEE CHALEUR FORCE :

- chaudières à vapeur de grande capacité et à paramètres élevés de fonctionnement
- turbines à vapeur de puissances unitaires jusqu'à 350 MW
- installations de combustible pour : charbon, mazout, gaz

autres installations méchaniques, afférentes aux centrales thermiques : récipients, conduites, pompes etc.

ÉQUIPEMENTS ET INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES POUR CENTRALES THERMIQUES, HYDRO-ÉLECTRIQUES, POSTES DE TRANSFORMATEURS ET INSTALLATIONS SPÉCIALES

- installations de commutation primaire jusqu'à une tension de 400 kV y compris
- installations pour les services auxiliaires aux centrales et postes de transformateurs
- installations de commutation secondaire
- installations d'automatisation, etc.

rries out :

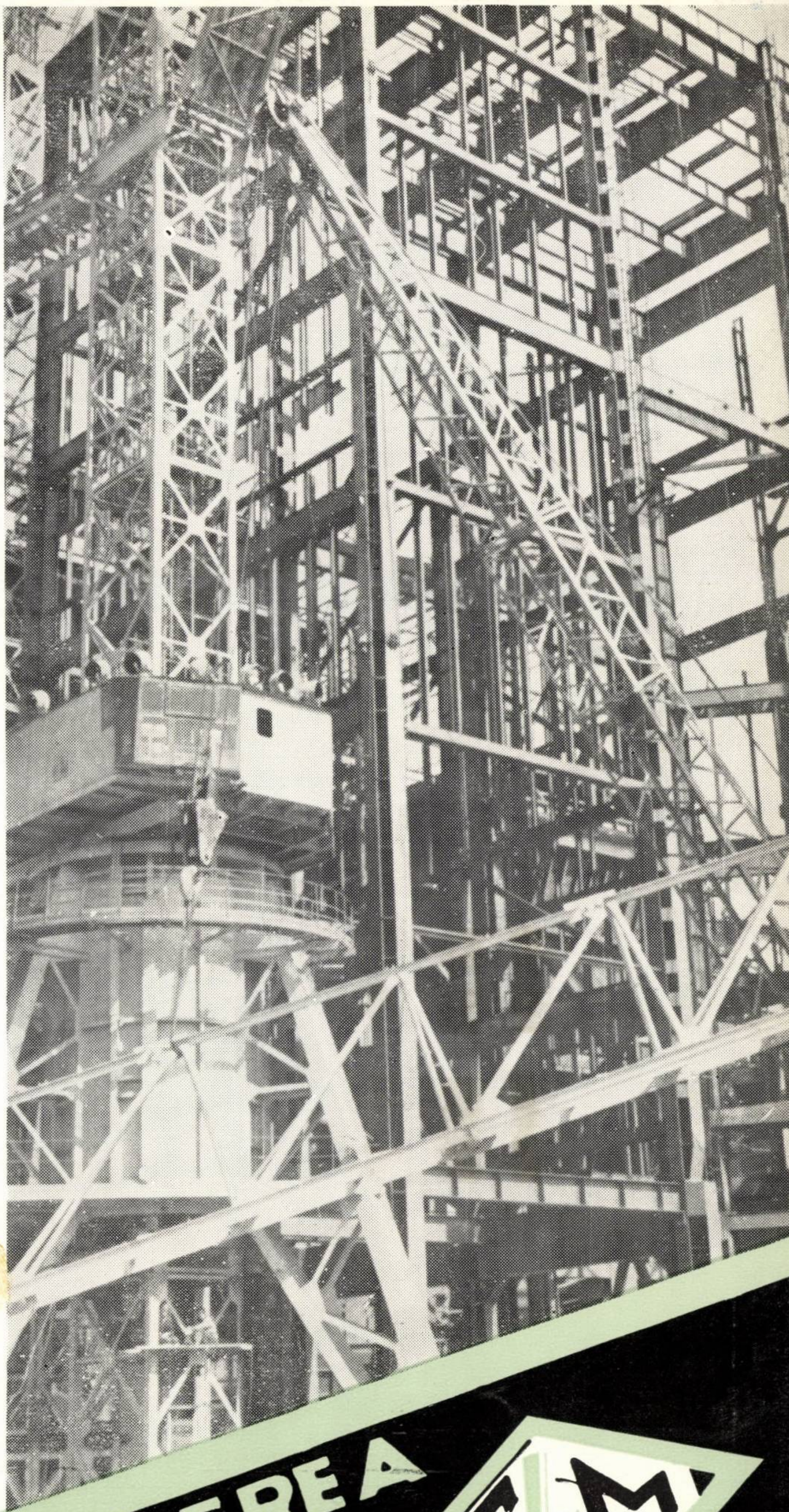
ection, operation and commissioning of power uipments and installations for thermal and hydroctric power plants

INSTALLATIONS AND EQUIPMENTS FOR THERMAL POWER PLANTS AND FOR COMBINED HEAT AND POWER PLANTS :

boilers of high capacity and high operational parameters
steam turbines up to 350 MW per unit
fuel installations for : coal, fuel-oil, gas
other mechanic equipment necessary for thermal power plants : tanks, pipes, pumps etc.

QUIPMENTS FOR HYDRO-ELECTRIC OWER PLANTS AND HYDRO-TECHNIAL INSTALLATIONS:

hydraulic turbines of all types, up to 176 MW per unit
penstocks
other mechanic equipment for hydro-electric power plants
equipments and installations for locks

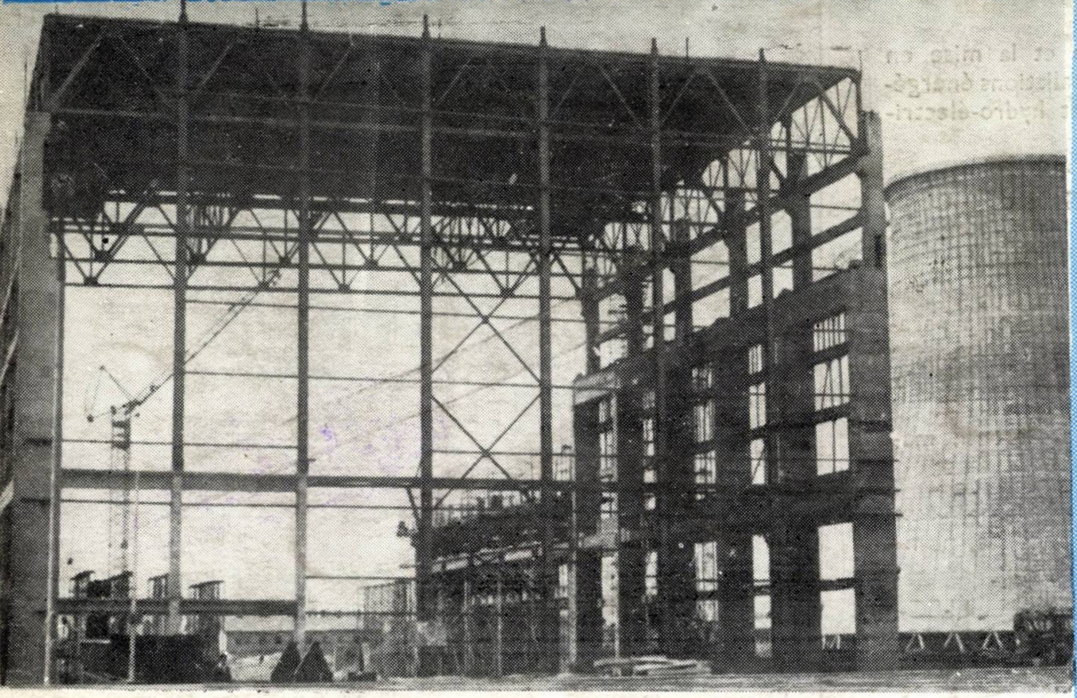


INTREPRINDEREA

Energomontaj

ELM

BUCUREȘTI, Sectorul 1, Calea Dorobanți nr. 105
Tel. : 12.76.30, telex : 335



# TCME

## TRUSTUL DE CONSTRUCȚII ȘI MONTAJE ENERGETICE

*— B U C U R E Ș T I —*

*Calea Moșilor nr. 158*  *Sectorul 4*

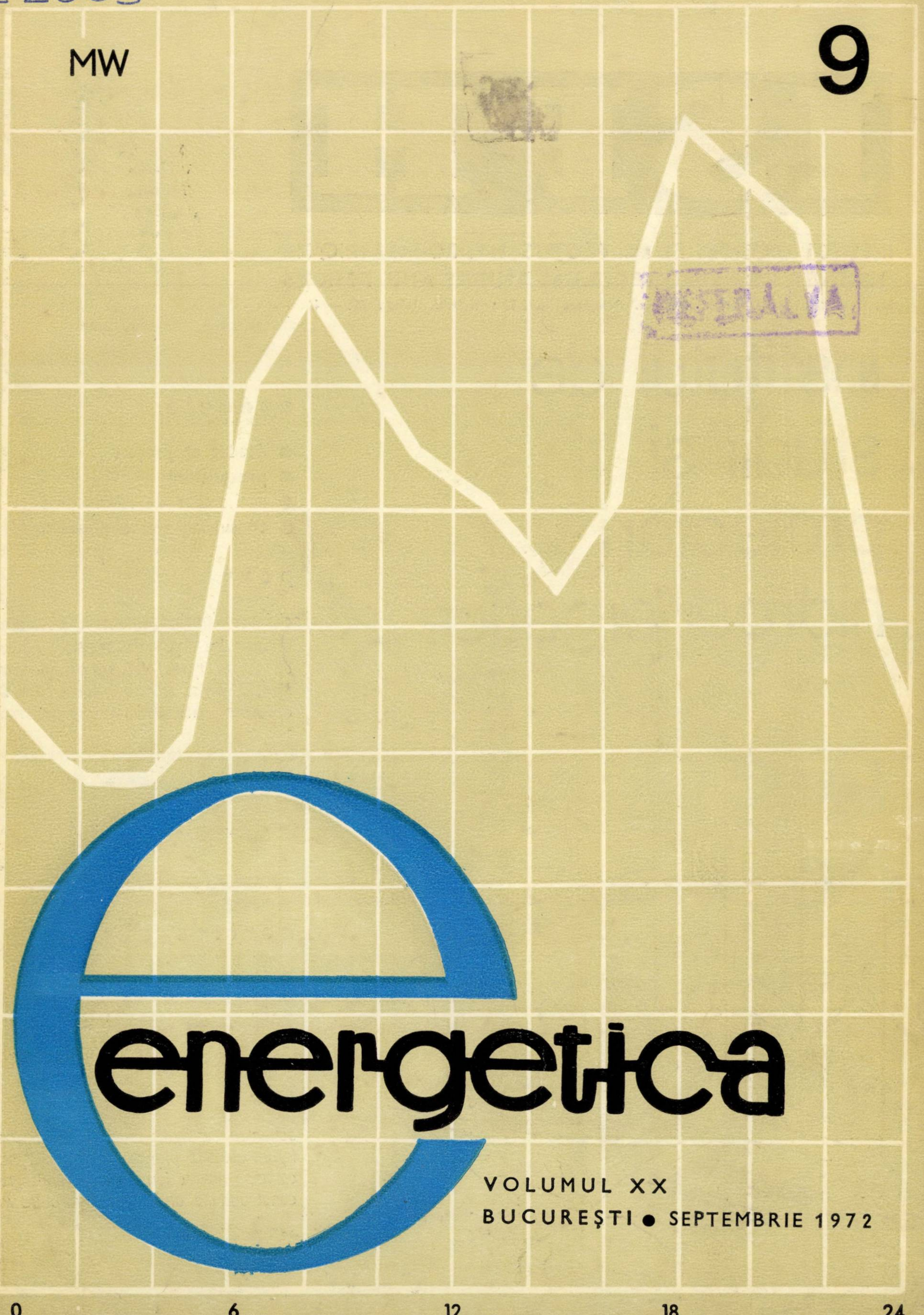
*telefon: 16.63.30.*  *telex 271*

Execută prin unitățile sale:

- **Lucrări de construcții termoenergetice:**
  - centrale termoelectrice
  - termoficări urbane și industriale
  - construcții hidrotehnice aferente centralelor termoelectrice
  - coșuri de fum prin glisare, cu înălțimi pînă la 250 m
  - turnuri de răcire cu tiraj natural și tiraj forțat
  - montaje de prefabricate grele din beton armat pentru orice construcție termoenergetică
- **Lucrări de montaj pentru centrale termo și hidroelectrice**
  - cazane de abur moderne de mari capacități cu parametri ridicați
  - turbine cu abur pînă la 345 MW
  - turbine cu gaze pînă la 35 MW
  - turbine hidraulice pînă la 176 MW
  - generatoare electrice
  - compensatoare sincrone
  - instalații termomecanice și hidromecanice pentru centrale termoelectrice și hidroelectrice
  - instalații electrice de joasă, înaltă și foarte înaltă tensiune, aferente centralelor electrice
  - instalații de măsură, control, automatizare, atît la partea mecanică cît și la partea electrică.

- **Lucrările de construcții și montaje se execută de către Trustul de Construcții și Montaje Energetice prin metode tehnologice moderne de mari productivități, în durate de timp minime și la un înalt grad de calitate.**

E 2039




9

# energetica

VOLUMUL XX
BUCUREŞTI • SEPTEMBRIE 1972

# ISPH

**INSTITUT D'ETUDES ET DE PROJETS HYDRO-ELECTRIQUES**
**INSTITUTE OF HYDROELECTRICAL STUDIES AND DESIGNS**

Bb. Republicii 29, Bucharest Romania. Telephone 14.72.70 ; 15.89.60. Telex : 011 — 443

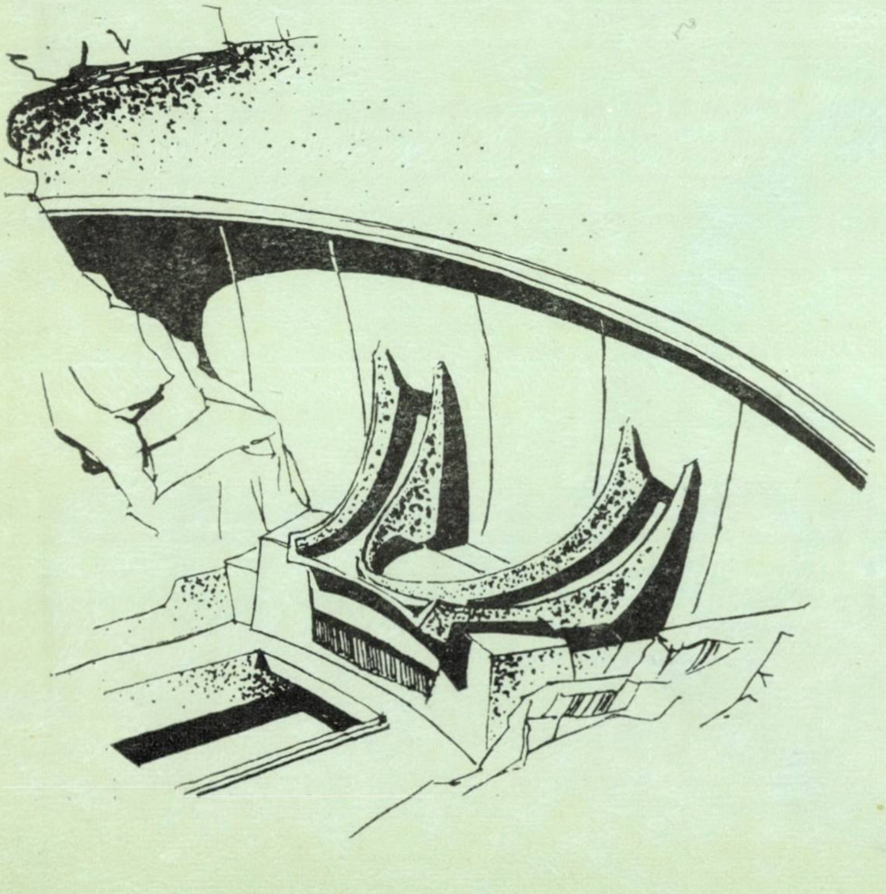
## institutul de studii și proiectări hidroenergetice

**exécute**

- études et projets
- prospections
- recherches de laboratoire
- consulting and engineering

**pour**

*schémas d'aménagements hydroélectriqu centrales hydroélectriques , barrag de divers types, écluses pour la navig tion, constructions souterraines d'autres constructions hydrotechniqu*



**carries out**

- studies and designs
- prospections
- laboratory researches
- consulting and engineering

**for**

*schemes for hydro-electric developments hydro-electric plants, different types o dams, navigation locks, undergroun constructions and other hydraulic work*

# ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 1972 Nr. 9 Septembrie

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁR ÉS DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT 1883

## Cuprinsul


| | | Pag. |
|---|---|---|
| *Kraft, M., Moţoiu, C., Cerghizan, V. şi Ilicea, C.* | **Consideraţii în legătură cu gradul de utilizare a puterii instalate într-o centrală termoelectrică** | 389—398 |
| *Raşcu, P.* | **Staţiile de conexiuni şi transformare de la CHE Porţile de Fier, circuite secundare, servicii proprii şi instalaţii auxiliare** | 398—401 |
| *Tarnavschi, Ş.* | **Stabilirea soluţiilor de dezvoltare a reţelelor electrice urbane pe baza analizei economice de ansamblu** | 402—406 |
| *Crăciunescu, V. şi Lădar, L.* | **Selectarea schemelor de excitaţie pentru hidrogeneratoare pe baza criteriilor tehnico-economice prin metoda „ELECTRE"** | 407—416 |
| *Leca, A. şi Prisecaru, I.* | **Analiza regimului termic şi mecanic al supraîncălzitorului convectiv al cazanului TGM-84-3** | 417—422 |
| *Staicu, C.I.* | **Pierderea de presiune în conducte** | 422—423 |
| *Mavrodin-Tărăbic, M., Onaca, I. şi Solacolu, I.* | **Randamentul realizat în conversia energiei chimice în energie electrică de o sursă de tip zinc-aer** | 424—428 |

**CRONICĂ**

**RECENZII**

**INFORMAŢII TEHNICE**

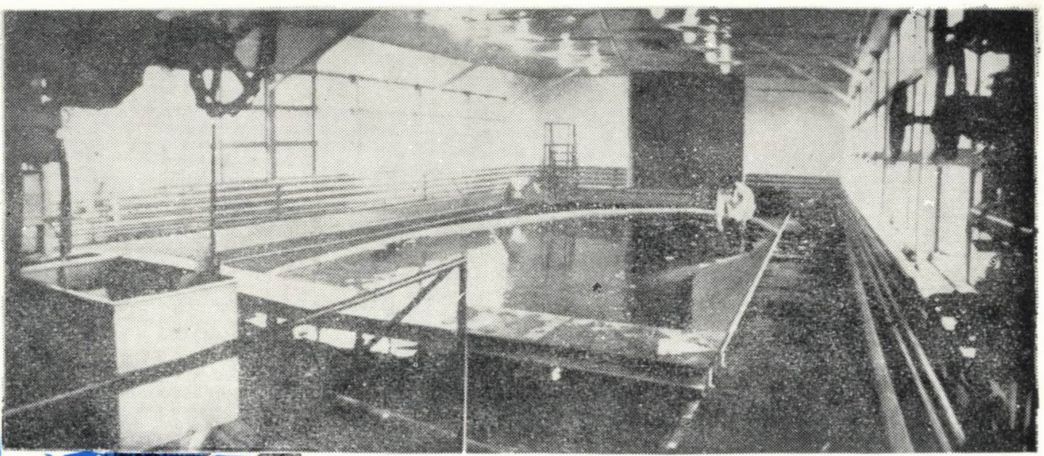

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. univ. emerit ing. I. D. STĂNCESCU, redactor responsabil, ing. G. IORGULESCU, redactor responsabil adjunct, conf. ing. I. A. BADEA, ing. ŞT. BERENGHI, conf. ing. A. COGĂLNICEANU, dr. ing. P. DIMO, membru corespondent al Academiei Republicii Socialiste România, laureat al Premiului de Stat, ing. H. FURTUNESCU, ing. P. IFTIME, ing. L. LUCA, ing. B. MARCU, dr. ing. A. MĂCRIŞ, conf. ing. C. MIHĂILEANU, prof. dr. ing. V. I. NIŢU, ing. A. SPÎNU, ing R. ZANE

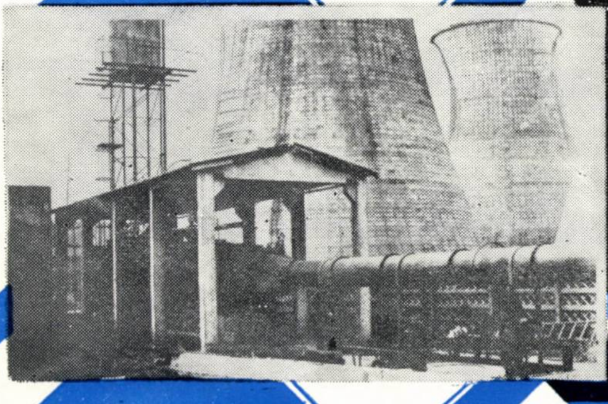
**OFICIUL DE DOCUMENTARE ENERGETICĂ**

# ICENERG

*București, sector 4, Str. Doamnei nr. 14–16, Telefon: 16 65 60–15 08 90*



- ICENERG EXECUTA CERCETARI STIINTIFICE PENTRU ASIGURAREA:
  . dezvoltării sistemelor energetice;
  . exploatării sigure şi economice a instalaţiilor din sistemele energetice;
  . continuităţii şi siguranţei în alimentarea consumatorilor;
  . ridicării nivelului tehnic în proiectarea, construcţia şi exploatarea instalaţiilor de producere, transport şi utilizare a energiei electrice şi căldurii produse prin termoficare.
- ICENERG ACORDA ASISTENTA TEHNICA PRIN STUDII SI CERCETARI STIINTIFICE IN DOMENIILE:
  . sisteme şi reţele electrice;
  . producerea şi utilizarea energiei electrice;
  . tehnica tensiunilor înalte;
  . automatizare;
  . centrale termoelectrice şi de termoficare;
  . hidrotehnică industrială în centrale termoelectrice;
  . chimia centralelor termoelectrice;
  . cercetări economice şi organizarea ştiinţifică a producţiei.
- LABORATOARELE DE TURNURI SI CIRCUITE DE RACIRE VA STAU LA DISPOZITIE PENTRU :
  . încercări de verificare a capacităţii de răcire şi de optimizare a funcţionării turnurilor de răcire de mare capacitate;
  . cercetări privind debitmetria de exploatare pe circuitele hidrotehnice ale centralelor electrice;
  . cercetări privind transportul hidraulic prin conducte.



## СОДЕРЖАНИЕ


ДК 621.311.22.004.17

*Крафт, М., Моцою, К., Чергизан, В.* и *Иличеа, К.*: **Соображения о степени использования установленной мощности ТЭС**

Подробно изложены принятые методы и требования к повышению степени использования установленной мощности ТЭС, а также и результаты, полученные у ТЭС Лудущ.

Energetica 20 (1972), No 9, стр. 389–398

ДК 621.311.42:621.316.37

*Рашку, П.*: **Подстанции и трансформаторные станции у ГЭС Железные Ворота, второстепенные цепи, собственные нужды и вспомогательные установки.**

Статья содержает описание измерительно-управляющей аппаратуры и установок сигнализации собственных нужд и вспомогательных установок трансформаторных станций и подстанций 220 и 400 кв у ГЭС Железные Ворота.

Energetica 20 (1972), No 9, стр. 398–401

ДК 621.316.31.001.5

*Тарнавский, Ш.*: **Определение решений развертывания городских электросетей на основе общего экономического анализа**

Представляется необходимость анализировать развертывание городских электросетей относительно самых благоприятных и общеэкономических технических решений при разных конкретных условиях, в соотношении с рациональным употреблением материалов и оборудования. Указаны способы проведения намеченных анализов.

Energetica 20 (1972), No 9, стр. 402–406

ДК 621.3.044:621.313.322–82

*Крэчунеску, В.* и *Лэдар, Л.*: **Выбор схем возбуждения для гидрогенераторов на основе технико-экономических критериев методом „ЭЛЕКТРЕ"**

Представлен способ выбора систем возбуждения для синхронных генераторов на основе метода „ЭЛЕКТРЕ", применение которого требует установления критерьев сравнения, их класса капитальности и значения порогов соответствия и несоответствия.

Energetica 20 (1972), No 9, стр. 407–416

ДК 621.181.8.001.4

*Лека, А.* и *Присекару, И.*: **Анализ термического и механического режимов конвективного сверхподогревателя котла ТГМ—84—3**

Рассчитаны условия работы конвективного сверхподогревателя котла ТГМ—84—3 ТЭС Брази в целях определения настоящего состояния материала и эффекта некоторых эксплуатационных мероприятий.

Energetica 20 (1972), No 9, стр. 417–422

ДК 532 .67

*Стайку, К. И.*: **Потери давления в трубопроводах**

По теоретическим размерным основам устанавливается новое отношение потери давления в трубопроводах. Метод, принятый при установлении отношения использует развертывание автором общего размерного анализа.

Energetica 20 (1972), No 9, стр. 422–423

ДК 621. 311. 25

*Мавродин-Тэрэбик, М., Онака, И.* и *Солаколу, И.*: **Полученный кпд при превращении химической энергии в электрическую энергию химическим источником типа цинк-воздух**

Рассчитан кпд, полученный при превращении химической энергии в электрическую энергию (термодинамический кпд, электрический кпд и общий кпд) элементом типа цинк-кислород, построенным в лаборатории. Приведены соображения об эффективности этих элементов по сравнению с атомными элементами и устанавливается оптимальный электрический режим работы элемента.

Energetica 20 (1972), No. 9, стр. 424–428


## INHALTSVERZEICHNIS


DK 621.311.22.004.17

*Kraft, M., Moţoiu, C., Cerghizan, V.* und *Ilicea, C.*: **Betrachtungen über den Nutzungsgrad der in einem Wärmekraftwerk installierten Leistung**

Die zur Steigerung des Nutzungsgrads der installierten Leistung eines Wärmekraftwerkes angewendeten Verfahren und deren Voraussetzungen werden eingehend unter Bezugnahme auf im Kraftwerk Luduş erzielte Erfolge erörtert.

Energetica 20 (1972), H. 9, S. 389–398

DK 621.311.42:621.316.37

*Raşcu, P.*: **Die Schalt — und Umspannwarten vom Wasserkraftwerk Eisernes Tor — Eigenbedarfs-und Nebenanlagen**

Der Aufsatz enthält eine Beschreibung der Steuer —, Mess — und Meldeeinrichtungen aus den Eigenbedarfs — und Nebenanlagen der Umspann — und Schaltwarten vom Wasserkraftwerk Eisernes Tor.

Energetica 20 (1972), H. 9, S. 398–401

DK 621.316.31.001.5

*Tarnavschi, Ş.*: **Ermittlung der Entwicklungsaussichten für die städtischen Netze auf Grund umfassender Analysen der Wirtschaftslage**

Es wird nachgewiesen, dass die Analyse der Entwicklungsaussichten städtischer Netze vom Standpunkt der für verschiedene konkrete Lagen güngstigsten technischen und wirtschaftlichen Lösungen mit einer rationalen Ausnutzung den Anlagen in Beziehung gesetzt werden muss. Es werden Hinweise für die Vornahme der Analysen gegeben.

Energetica 20 (1972), H. 9, S. 402–406

DK 621.3.044:621.313.322–82

*Crăciunescu, V.* und *Lădar, L.*: **Wahl der Erregerschaltbilder für Wasserkraftgeneratoren an Hand wirtschaftlicher und technischer Merkmale vermittels des „ELECTRE"-Verfahrens**

Es Wird der Auswahlvorgang für Erregersystheme von Synchrongeneratoren an Hand des „ELECTRE"-Verfahrens dargestellt. Die Anwendung dieses Verfahrens ist von der Bestimmung von Vergleichsmerkmalen, vom Vergleich derer Wichtigkeitsgraden sowie von Konkordanz-und Diskordanzschwellenwerten bedingt.

Energetica 20 (1972), H. 9, S. 407–416

DK 621.181.8.001.4

*Leca, A.* und *Prisecaru, I.*: **Untersuchung der thermischen und mechanischen Betriebszustände des konvektiven Übererhitzers eines TGM-84-3-Kessels**

Es werden die Betriebsbedingungen des konvektiven Überhitzers eines TGM-84-3-Kessels vom Industriekraftwerk Brazi ermittelt, mit dem Ziel, den gegenwärtigen Zustand der Anlageteile und die Ergebnisse einiger Betriebsmassnahmen festzustellen.

Energetica 20 (1972), H. 9, S. 417–422

DK 532. 57

*Staicu, C.I.*: **Druckverluste in Rohrleitungen**

Auf Grund theoretischer Erwägungen auf dimensionalem-Gebiet wird eine neue Beziehung der Druckverluste in Rohr leitungen ermittelt. Das für Bestimmung der Beziehung angewendete Verfahren wird vom Verfasser für Entwicklung allgemeiner dimensionaler Analysen erweitert.

Energetica 20 (1972), H. 9, S. 422–423

DC 621.311.25

*Mavrodin-Tărăbic, M., Onaca, I.* und *Solacolu, I.*: **Erzielter Wirkungsgrad bei Umwandlung von chemischen Energie in Elektroenergie in einem chemischen Element der Bautype Zink-Luft**

Berechnung des erzielten Wirkungsgrads bei Umwandlung von chemischer Energie in Elektroenergie (thermodynamischer, elektrischer und Gesamtwirkungsgrad) in einem im Labor gebauten Element der Type Zink-Sauerstoff.

Es werden Betrachtungen über die Wirtschaftlichkeit dieses Elementes im Vergleich mit Brennstoffelementen und der optimale elektrische Betriebsbereich desselben angeführt.

Energetica 20 (1972), H 9, S. 424–428

# SOMMAIRE

CD 621.311.22.004.17

*Kraft, M., Moţoiu, C., Cerghizan, V.* et *Ilicea, C.* : **Considérations sur le degré d'utilisation de la puissance installée dans une centrale thermique**

Les auteurs présentent en détail les méthodes employées et les conditions imposées pour accroître le degré d'utilisation de la puissance installée d'une centrale thermique ; les résultats obtenus à la centrale thermique de Luduş sont mentionnés.

Energetica 20 (1972), no. 9 . 389–398

CD 621.311.42 :621.316.37

*Raşcu, P.* : **Les postes de connexion et de transformateurs de la centrale hydro-électrique des Portes de Fer, les circuits secondaires, les services et installations auxiliaires**

L'article offre une description des installations de commande, mesure et signalisation des services et installations auxiliaires des postes de transformateurs et connexion à 220 et 400 kV de la centrale hydro-électrique des Portes de Fer.

Energetica 20 (1972), no. 9, p. 398–401

CD 621.316.31.001.5

*Tarnavschi, Ş.* : **L'établissement des solutions pour le développement des réseaux électriques urbains, à base d'une analyse économique d'ensemble**

L'auteur souligne la nécessité d'analyser le développement des réseaux électriques urbains du point de vue des solutions techniques les plus favorables et plus économiques pour tout l'ensemble, compte-tenu de différentes situations réelles et de l'utilisation rationnelle des matériaux et équipements. Il indique comment effectuer les analyses considérées utiles.

Energetica 20 (1972), no. 9, p. 402–406

CD 621.3.044 :621.313.322–82

*Crăciunescu, V.* et *Lădar, L.* : **Choix des schémas d'excitation pour hydro-alternateurs, d'après les critériums techno-économiques par la méthode ,,ELECTRE''**

Il s'agit de la manière de choisir les systèmes d'excitation pour alternateurs synchrones d'après la méthode ,,ELECTRE'', dont l'application implique l'établissement de critériums de comparaison de leur degré d'importance et de la valeur des seuiles de concordance et discordance.

Energetica 20 (1972), no. 9, p. 407–416

CD 621.181.8.001.4

*Leca, A.* et *Prisecaru, I.* : **L'analyse du régime thermique et mécanique du surchauffeur à convection de la chaudière TGM-84-3**

On calcule les conditions de fonctionnement du surchauffeur de la chaudière TGM-84-3 installée dans la centrale à production combinée chaleur/force de Brazi, afin d'établir l'état présent du matériel et l'effet de quelques mesures d'exploitation.

Energetica 20 (1972), no. 9, p. 417–422

CD 532.57

*Staicu, C.I.* : **La perte de pression dans les tuyaux**

On établit, sur des données théoriques, une nouvelle relation pour la perte de pression dans les tuyaux. La méthode appliquée pour trouver la relation emploie le développement de l'analyse dimensionnelle générale.

Energetica 20 (1972), no. 9, p. 422–423

CD 621.311.25

*Mavrodin-Tărăbîc, M., Onaca, I.* et *Solacolu, I.* : **Le rendement obtenu dans la conversion de l'énergie chimique en énergie électrique par une source chimique de type zinc-air**

Les auteurs calculent le rendement obtenu dans la conversion de l'énergie chimique en énergie électrique (rendement thermo-dynamique, rendement électrique et rendement total) par une pile du type zinc-oxigène construite en laboratoire. L'efficacité de cette pile est considérée par comparaison avec les piles à combustion et on établit le régime électrique optimum de fonctionnement de la pile.

Energetica 20 (1972), no. 9, p. 424–428

# CONTENTS

DC 621.311.22.004.17

*Kraft, M., Moţoiu, C., Cerghizan, V.* and *Ilicea, C.* : **Some considerations related to the degree of utilisation of the power installed in a thermal power plant**

This is a detailed presentation of the methods used and the conditions imposed to increase the degree of utilisation of the power installed in a thermal power plant; reference is made to results obtained at Luduş thermal power plant.

Energetica 20 (1972), nr. 9, p. 389–398

DC 621.311.42 :621.316.37

*Raşcu, P.* : **Switchyards and transformer substations at the Iron Gates hydroelectric power plant, also secondary circuits, auxiliary services and installations**

This article describes the control, measure and warning installations of the auxiliaries serving the 220 kV and 400 kV switchyards and transformer substations at the Iron Gates hydro-electric power plant.

Energetica 20 (1972), nr. 9, p. 398–401

DC 621.316.31.001.5

*Tarnavschi, Ş.* : **The establishing of development solutions for urban electric networks according to an overall economic analysis**

The author stresses the need of using an analysis of the development of urban electric networks considering the most adequate and economic technical solutions, for various real situations, correlated to a rational employ of materials and equipment. He goes on to specify how to carry out analyses considered to be useful.

Energetica 20 (1972), nr. 9, p. 402–406

DC 621.3.004 :621.313.322–82

*Crăciunescu, V. and Lădar, L.* : **How to choose excitation diagrams for hydrogenerators following technical-economic criteria, by the ,,ELECTRE'' method**

Here is shown a way for choosing excitation diagrams for synchronous generators following the ,,ELECTRE'' method, whose application implies the setting up of comparison criteria, of their degree of importance and of the value of concordance and discordance thresholds.

Energetica 20 (1972), nr. 9, p. 407–416

DC 621.181.8.001.4

*Leca, A.* and *Prisecaru, I.* : **The analysis of the thermal and mechanical conditions of the convective reheater of a TGM-84-3 boiler**

There are calculated here the working conditions of the reheater of the TGM-84-3 boiler installed at Brazi combined heat and power plant for the purpose of deducing the present state of the material and the result of some operating measures.

Energetica 20 (1972), nr. 9, p. 417–422

DC 532.57

*Staicu, C. I.* : **Pressure loss in pipes**

A new relation for pressure loss in pipes is established on theoretical bases. The method applied to calculate the relation uses the development of the general dimensional analysis carried out by the author.

Energetica 20 (1972), nr. 9, p. 422–423

DC 621.311.25

*Mavrodin-Tărăbîc, M., Onaca, I.* and *Solacolu, I.* : **The efficiency of the conversion of chemical energy into electrical energy by a chemical source of the zinc-air type**

The authors calculate the efficiency of the conversion of chemical energy into electrical energy (thermodynamic, electrical and overall efficiency) by a zinc-oxygene type of pile in the laboratory. Some considerations follow on the efficiency of this pile compared to fuel piles and the optimal electrical conditions for the operation of the pile are established.

Energetica 20 (1972), nr. 9, p. 424–428

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁR DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT 1983

# Consideraţii în legătură cu gradul de utilizare a puterii instalate într-o centrală termoelectrică

Ing. M. Kraft, ing. C. Moţoiu, ing. V. Cerghizan şi ing. C. Ilicea*)

Literatura contemporană din domeniul economic tratează cu perseverenţă problema folosirii integrale (raţionale) a capacităţilor de producţie. Atenţia deosebită acordată acestui subiect este determinată de influenţa sa hotărîtoare asupra volumului producţiei şi nivelului preţului de cost al mărfii. Valorificarea completă a muncii trecute, încorporată în echipamentele montate, reprezintă o necesitate economică vitală, reclamată de progresul continuu al societăţii. Mai mult decît alte ramuri, energetica modernă prezintă prin excelenţă avantaje nete în ceea ce priveşte asigurarea condiţiilor de realizare a unor înalţi indicatori de utilizare a capacităţilor de producţie, de energie electrică fiind nevoie în permanenţă şi pretutindeni.

Gradul de utilizare a capacităţilor de producţie din ramura energiei electrice se defineşte prin durata de utilizare a puterii instalate, exprimată în h/an (anexa 1).

În figura 1 şi tabelul 1 sînt prezentaţi principalii indicatori ai unei centrale termoelectrice.

Analizînd aceşti indicatori, se poate constata că în anumite condiţii valorile de proiect pot fi îmbunătăţite. Blocurile energetice de 100 MW realizează anual, de la punerea lor în funcţiune (8—5 ani) peste 7 000 de ore, atingînd uneori cifra maximă anuală (8 760 de ore), iar la blocurile de 200 MW — cu unele excepţii evidente — se depăşeşte cu 500—1 000 de ore cifra de proiect. În anexa 3 sînt redate rezultatele obţinute în acest domeniu în R.S.R. şi în alte ţări; din comparaţia acestora rezultă un grad mai ridicat de utilizare a capacităţilor instalate în centralele electrice româneşti şi în mod deosebit la CTE Iernut-Luduş. De aceea prezintă interes expunerea succintă a principalelor condiţii care au permis realizarea şi repetarea cu succes la CTE Iernut a unor asemenea indicatori de folosire a puterii instalate. Datele prezentate sintetizează cîteva concluzii dintre cele mai importante, rezultate din activitatea de zece ani desfăşurată la această centrală în domeniul creşterii duratei de utilizare a puterii instalate. Înainte de aceasta este cazul să se arate că *sarcina de căpetenie a colectivului de muncă al centralei termoelectrice o constituie obligaţia de a asigura timp îndelungat (de ordinul deceniilor) utilizarea raţională a puterii instalate, la un randament optim, în condiţii de securitate deplină pentru personal şi de siguranţă maximă pentru echipamente.* (În sfera noţiunii de randament au fost incluse, de asemenea, productivitatea şi preţul de cost.)

1. **Condiţia primordială**, care influenţează şi determină gradul de disponibilitate al instalaţiilor, **o constituie calitatea echipamentelor.** Oricît de bune ar fi proiectele, schemele adoptate, calitatea lucrărilor de construcţii şi montaj, toate împreună şi combinate oricum nu vor putea substitui sau completa fiabilitatea îndoielnică a maşinilor. Numai plecînd de la o asemenea premisă se poate înţelege efortul curajos şi justificat al energeticianului din exploatare, efort cristalizat în obţinerea unor maşini de înaltă calitate. O experienţă îndelungată a impus necesitatea organizării unor verificări de detaliu şi de ansamblu a echipamentelor, în fabrică şi mai ales la montaj, continuate apoi în exploatare cu pasiunea şi conştiinciozitatea cercetătorului. În cele ce urmează se vor prezenta cîteva date referitoare la controalele şi verificările efectuate la CTE Iernut.

1.1. La cazane s-au controlat în timpul montajului grosimea peretelui la ţevi şi colectoare (de la economizor şi pînă la supraîncălzitoare inclusiv), respectarea compoziţiei chimice a tuturor oţelurilor aliate, calitatea sudurilor, inexistenţa fisurilor la tambur, calitatea izolaţiei calorifuge. După punerea în funcţiune s-au verificat parametrii pe traseu (mai ales temperatura aburului, respectiv a metalului), regimul circulaţiei în cazan la diferite debite, calitatea protecţiilor, a automatizărilor şi a armăturilor. Rezultatele acţiunilor s-au materializat atît în eliminarea fizică a zeci de puncte slabe cît şi în cunoaşterea unor laturi şi regimuri periculoase şi în obţinerea unor valori caracteristice ridicate, exprimate prin:

— numărul ridicat de ore de funcţionare a cazanului (8 000—8 500 h/an);

— mărirea intervalului dintre două opriri la 3 000—5 000 de ore;

— mărirea intervalului mediu dintre două reparaţii curente (circa 25 000 de ore);

— nu sînt necesare reparaţii capitale nici după 8 ani de funcţionare intensă.

Rezultatele obţinute sînt oricînd comparabile şi depăşesc pe cele atinse în alte ţări.

Exemple analoage în legătură cu executarea unor controale de calitate se pot da pentru turbine, generatoare, motoare, întreruptoare şi cabluri. Numai în acest fel, *prin analize tehnice de amănunt şi de ansamblu*, s-au creat personalului de exploatare condiţiile favorabile atingerii continue a performanţelor ridicate prezentate în tabelul 1 şi în graficele din anexa 2.

---

*) Mişu Kraft este director tehnic la C.I.P.E.E.T.; Costin Moţoiu este conferenţiar la Institutul politehnic — Bucureşti; Viorel Cerghizan este director al întreprinderii „Electrocentrale" — Mureş; Constantin Ilicea este director tehnic la aceeaşi întreprindere.

Tabelul 1

## SITUAȚIA
### utilizării fondului de timp al agregatelor energetice la CTE Iernut

| Nr. blocului/ Puterea nominală, MW | Data primului paralel / Data intrării în exploatare industrială | Numărul de ore de funcționare de la primul paralel / Energia produsă de la primul paralel, GWh | Situația anuală a orelor de utilizare | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1964 | | | 1965 | | | 1966 | | | 1967 | | | 1968 | | | 1969 | | | 1970 | | |
| 1/100 | 21.09.1963 / 01.11.1963 | 54 846 / 5 459,4 | 7 251 | 7 010 | 13/9 | 7 751 | 7 937 | 8/9 | 7 184 | 7 576 | 12/9 | 8 110 | 8 413 | 7/4 | 7 293 | 7 027 | 7/5 | 8 134 | 7 956 | 3/8 | 7 692 | 7 297 | 6/5 |
| 2/100 | 11.03.1964 / 01.04.1964 | 52 494 / 5 163,4 | 5 850 | 5 538 | 16/9 | 7 715 | 7 740 | 6/9 | 8 534 | 8 695 | 6/6 | 7 622 | 7 669 | 10/4 | 8 412 | 8 579 | 5/5 | 5 695 | 5 475 | 3/6 | 8 463 | 7 755 | 4/4 |
| 3/100 | 20.08.1964 / 01.09.1964 | 50 949 / 5 091,5 | 2 542 | 2 407 | 5/5 | 8 179 | 8 227 | 8/12 | 7 648 | 8 060 | 10/5 | 8 095 | 8 361 | 6/5 | 8 657 | 8 822 | 4/5 | 8 126 | 7 839 | 2/9 | 7 611 | 7 114 | 4/4 |
| 4/100 | 28.10.1966 / 20.11.1966 | 33 808 / 3 293,1 | | | | | | | 889 | 852 | 4/2 | 7 474 | 7 337 | 10/4 | 8 587 | 8 550 | 5/15 | 8 217 | 8 040 | 3/7 | 8 434 | 7 973 | 3/5 |
| 5/200 | 13.04.1966 / 01.06.1966 | 32 240 / 5 871,2 | | | | | | | 4 355 (4 176/ 4 420) | 3 735 | 3/12 | 7 279 (7 139/ 7 057) | 6 668 | 3/14 (4/4) (17/17) | 4 580 (4 553/ 4 505) | 4 357 | 2/5 (2/2) (5/5) | 8 593 (8 453 8 584) | 8 032 | 2/1 (3/2) (3/1) | 7 010 (6 933/ 6 856) | 6 303 | 6/2 (6/8) (3/3) |
| 6/200 | 04.03.1967 / 01.04.1967 | 27 820 / 5 172,7 | | | | | | | | | (6/ 18) (5/ 12) | 6 252 (6 120/ 6 127) | 5 721 | 4/3 (5/5) (7/5) | 7 491 (7 327/ 7 423) | 7 157 | 3/4 (5/5) (4/5) | 6 127 (6 061/ 5 982) | 5 045 | 4/3 (5/5) (4/5) | 7 729 (7 637/ 7 685) | 7 169 | 4/4 (3/4) (6/5) |

Legendă (pentru fiecare an, coloanele în ordine):
- numărul orelor de funcționare
- nr. orelor de utilizare a puterii instalate
- numărul de porniri-opriri planificate/incidentale

**NOTĂ**

**Primul paralel cu abur de la blocul nr. 1 s-a executat la 6.02. 1964.**
**Cifrele din paranteză reprezintă valorile realizate de cele două corpuri de cazan (A+B).**

1.2. Merită reținut faptul că activitatea de control al calității echipamentelor nu se încheie odată cu punerea în funcțiune industrială a instalațiilor, ci continuă și pe parcursul exploatării, deoarece numai astfel se pot elucida deficiențele de concepție și de fabricație. De exemplu, la transformatoarele de 250 MVA s-a demonstrat existența unor zone cu circulație defectuoasă a uleiului, zone cu încălzire inadmisibilă (care îmbătrînea prematur izolația), ceea ce a condus la străpungerea izolației dintre înfășurarea de 220 kV și cea de 15,75 kV. Furnizorul a fost obligat să înlocuiască — în contul său — aceste transformatoare cu altele reconstruite și aceasta nu numai după avarie, ci, în unele cazuri, preventiv. Un alt exemplu îl reprezintă generatoarele de 200 MW, la care, analiza sistematică a defectelor și confruntarea elementelor constructive cu unele considerații teoretice au demonstrat necesitatea înlocuirii

**Valori de proiect**

| | |
|---|---|
| — $N$/an la blocuri de 100 MW | 7 000 |
| — $N$/an la blocuri de 200 MW | 6 500 |
| — $E$ mediu anual, kWh | 5,5 miliarde |
| — $q$ mediu anual, g c.c./kWh | 338 ± 3 % |
| — consumul propriu $P$ % | 6,6 ± 5 % |
| — număr personal om/MW instalat | 0,77 |

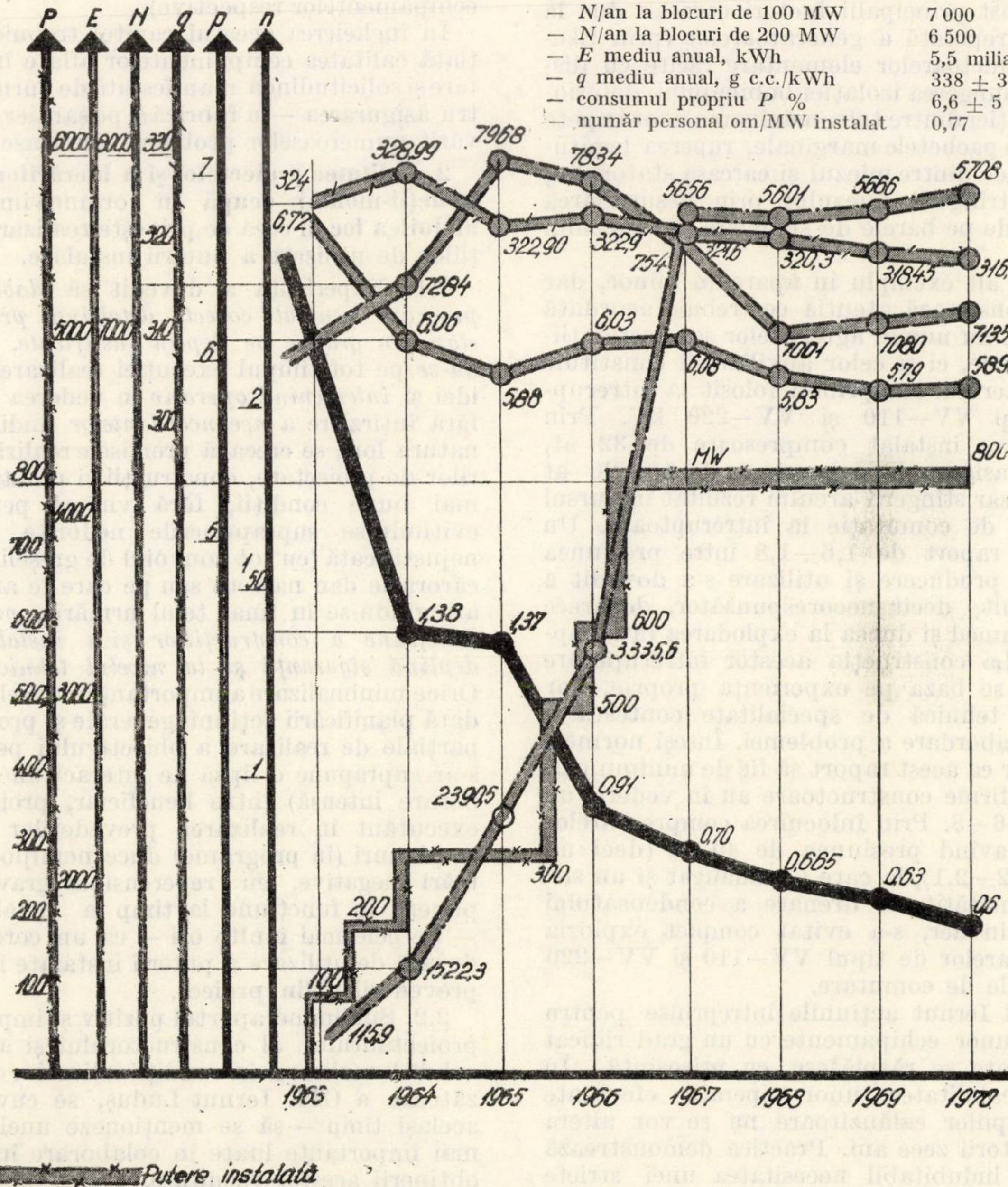



Fig. 1. Graficul puterii instalate la CTE Iernut.

acestora. Vibrațiile cu frecvența de 100 Hz ale miezului statoric reprezintă, în anumite condiții constructive ale generatorului, cauza principală a avarierii bobinajului și a miezului statoric. Nerespectarea — prin proiectare — a raportului

$$\lambda_i = \frac{L_a \text{ (lungimea activă a miezului statoric)}}{D_i \text{ (diametrul interior al statorului)}}$$

și rigiditatea radială insuficientă a miezului, suprapuse peste o alegere nefericită a numărului de crestături, a densității mari de curent pe crestătură, împreună cu o calitate contestabilă a izolației și a conductoarelor tubulare răcite cu apă, au fost principalii factori care au dus la avarierea repetată a generatoarelor (prin fisurarea conductoarelor elementare răcite cu distilat, străpungerea izolației bobinajului, deteriorarea izolației dintre tole, măcinarea unor capete de tole din pachetele marginale, ruperea legăturilor elastice dintre miezul și carcasa statorului, slăbirea strîngerii miezului prin deșurubarea piulițelor de pe barele de strîngere ale miezului etc.).

1.3. Un alt exemplu în aparență minor, dar care demonstrează atenția ce trebuie acordată permanent nu numai agregatelor sau instalațiilor principale, ci și celor auxiliare îl constituie calitatea aerului comprimat folosit la întreruptoarele tip VV—110 și VV—220 kV. Prin proiect s-au instalat compresoare de 32 at, pentru a asigura la o presiune de 18—20 at aerul necesar stingerii arcului rezultat în cursul proceselor de comutație la întreruptoare. Un asemenea raport de 1,6—1,8 între presiunea aerului la producere și utilizare s-a dovedit a fi mai mult decît necorespunzător, deoarece aerul era umed și ducea la explodarea întreruptoarelor. La construcția acestor întreruptoare furnizorul se baza pe experiența proprie, dar literatura tehnică de specialitate contestă o asemenea abordare a problemei. Înseși normele noastre cer ca acest raport să fie de minimum 2, iar unele firme constructoare au în vedere un raport de 6—8. Prin înlocuirea compresoarelor cu altele avînd presiunea de 40 at (deci un raport de 2—2,1), la care s-a adăugat și un sistem îmbunătățit de drenare a condensatului rezultat din aer, s-a evitat complet explozia întreruptoarelor de tipul VV—110 și VV—220 la operațiile de comutare.

La CTE Iernut acțiunile întreprinse pentru obținerea unor echipamente cu un grad ridicat de fiabilitate se răsplătesc cu prisosință. În plus aplicabilitatea unor operații efectuate și a principiilor călăuzitoare nu se vor altera nici în viitorii zece ani. Practica demonstrează univoc și indubitabil necesitatea unei stricte respectări a condiției de fiabilitate, certificată de exploatare, pentru a putea obține o durată de utilizare ridicată a puterii instalate.

Înscrierea în contractele de livrare (ce se încheie cu furnizorii din țară și îndeosebi cu cei din străinătate) a unor condiții exigente și concrete de preluare și de încercare a echipamentelor, a obligațiilor legate de calitatea — în timp — a agregatelor și — bineînțeles — realizarea acestor angajamente în mod loial, trebuie să fie condiția de bază a relațiilor economice și juridice dintre furnizor și cumpărător. Concomitent trebuie precizate condițiile de *conlucrare în timp dintre furnizor și cumpărător după trecerea perioadelor de garanție* (atît pentru lichidarea defectelor sesizate de oricare dintre părți, cît și pentru executarea unor modernizări impuse ulterior de fabricarea și exploatarea echipamentelor respective).

În încheierea acestui capitol trebuie evidențiată calitatea echipamentelor aflate în exploatare și solicitudinea manifestată de furnizor pentru asigurarea —în fabrică și pe șantier — rezolvării numeroaselor probleme litigioase.

2. **Calitatea proiectelor și a lucrărilor de construcții-montaj ocupă** în ordinea importanței **al doilea loc** în ceea ce privește realizarea condițiilor de utilizare a puterii instalate.

2.1. Experiența a dovedit că *elaborînd un program general corect, detaliind principalele etape în grafice pe deplin justificate, asigurîndu-se* pe tot timpul execuției realizarea acestor idei și *intervenind operativ* în vederea *rezolvării* fără întîrziere a *neconcordanțelor* (indiferent de natura lor), se creează premisele realizării lucrărilor de proiectare, construcții și montaj în cele mai bune condiții, fără vîrfuri periculoase, evitîndu-se suprapunerile nedorite și graba nejustificată (cu tot convoiul de greșeli și „boli" cărora le dau naștere sau pe care le amplifică), atingîndu-se în final țelul urmărit, *punerea în funcțiune a construcțiilor și a instalațiilor în deplină siguranță și la nivelul tehnic necesar.* Orice minimalizare a importanței ce trebuie acordată planificării acțiunii generale și programelor parțiale de realizare a obiectivului peste care s-ar suprapune o lipsă de interacțiune (și colaborare intensă) între beneficiar, proiectant și executant în realizarea prevederilor cuprinse în planuri (în programe) duce nemijlocit la urmări negative, cu repercusiuni grave asupra punerii în funcțiune la timp a instalațiilor și — de cele mai multe ori — ca un corolar, la o durată de utilizare a puterii instalate inferioară prevederilor din proiect.

2.2. Subliniind aportul pozitiv și important al proiectantului al constructorului și al montorului*) la realizarea în condiții calitative corespunzătoare a CTE Iernut-Luduș, se cuvine — în același timp — să se menționeze unele măsuri mai importante luate în colaborare în vederea obținerii acestor rezultate.

2.2.1. *Analizarea în comisia tehnică a centralei a majorității proiectelor, pe lucrări, înainte de a*

*) Proiectant general : I.S.P.E. — București ; executanți : constructor întreprinderea „Energoconstrucția" — București, montor — întreprinderea „Energomontaj" — București.

*fi transmise spre execuţie*, completarea lor cu unele cereri şi soluţii. Un exemplu îl constituie demineralizarea integrală a condensatului prin realizarea căreia, în condiţiile unei exploatări îngrijite, s-au evitat depunerile de săruri atît la cazanele cît şi la turbinele blocurilor de 200 MW. O asemenea măsură are o influenţă de ordinul a 500—800 ore/an asupra duratei de utilizare. Se pot oferi numeroase alte exemple analoage, legate de îmbunătăţirea sau de completarea soluţiilor tehnice, ca : dublarea protecţiei la liniile de 110 kV, îmbunătăţirea automatizării la alimentarea cu apă a cazanelor din etapa I, rigidizarea plăcilor acoperişului clădirii principale, mecanizarea unor operaţii de reparaţii prin dotarea zonelor cu poduri rulante electrice, cu monoraiuri şi electropalane etc. Nu se poate spune acelaşi lucru despre staţiile electrice exterioare (de 110 şi de 220 kV), la care alegerea nefericită — prin proiect — a gabaritelor impune menţinerea în stare de indisponibilitate a unei bare colectoare pe perioada reviziilor la întreruptoare (timp ce însumează circa 2—3 luni pe an), ceea ce — bineînţeles — reduce siguranţa în exploatare.

2.2.2. *Controlul obişnuit al calităţii betoanelor armate* (atît în ceea ce priveşte respectarea reţetei,acît şi calitatea armăturii), respectarea regimului de vibrare a betoanelor, luarea în consideraţie a exotermiei şi a rosturilor de turnare sînt lucruri cunoscute, operaţii de rutină, dar de mare importanţă atunci cînd este vorba de fundaţiile turboagregatelor, de cadrele clădirilor sau de pilele barajului. Ceea ce uneori urmează să se hotărască în comun şi pe bază de expertiză sînt abaterile de la tehnologia de turnare sau de înglobare a pieselor metalice (cum a fost la TA—4 şi TA—5), dar mai complicată este stabilirea soluţiilor de fundare, mai ales pe terenuri insuficient de stabile (cazul staţiei de pompe). Colaborarea fructuoasă cu instituţiile de specialitate (mai precis cu profesori de la Institutul politehnic—Bucureşti) a permis găsirea soluţiilor adecvate pentru toate aceste probleme complexe.

2.2.3. *Asigurarea calităţii lucrărilor de montaj* este un domeniu deosebit de larg, extrem de complex, cuprinzînd activităţi dintre cele mai variate şi de mare răspundere, ce se reflectă — în primul rînd — în siguranţa în exploatare a instalaţiilor montate. Se obişnuieşte ca prima revizie să se facă după un an de la punerea în funcţiune a noilor instalaţii, atît pentru corectarea eventualelor erori de montaj, cît, mai ales, pentru sesizarea deficienţelor constructive constatate în perioada anului de garanţie dat de furnizor. Prin realizarea unui montaj îngrijit este posibilă prelungirea intervalului de funcţionare pînă la prima revizie de la 1 an la 2—3 ani, ceea ce oferă posibilităţi sporite de cunoaştere a echipamentului în exploatare, pentru a-l revizui mai temeinic şi a-i aduce completări şi îmbunătăţiri. (De reţinut faptul că şi termenul de garanţie acordat de furnizor se prelungeşte azi la circa 3 ani.) Experienţa acumulată confirmă cele de mai sus, asigurîndu-se — chiar şi la blocurile de 200 MW, care sînt suficient de pretenţioase — funcţionarea echipamentelor pe o perioadă de 2—2,5 ani pînă la prima revizie, fapt cu efect pozitiv asupra cunoaşterii echipamentelor şi asupra creării condiţiilor tehnico-materiale necesare în vederea punerii la punct (unde însăşi soluţionarea tehnică a problemei solicită circa 2 ani).

În ceea ce priveşte controlul calităţii lucrărilor de montaj, trebuie subliniată nu numai grija şi seriozitatea executantului, dar se cuvine evidenţiat şi rolul beneficiarului, exprimat prin :

— *participarea unor cadre* (maiştri şi muncitori) *ai viitoarei exploatări la realizarea efectivă a lucrărilor de montaj*, ceea ce a permis nu numai o pregătire originală a personalului de reparaţii (şi fără a face cheltuieli de fond de salarii), dar a combinat conştiinciozitatea montorului cu exigenţa profesională a omului de exploatare, pentru a obţine rezultatul optim dorit. În mod concret, la CTE Iernut-Luduş, cadrele exploatării au lucrat ca sudori la cazane, la montarea turboagregatelor, la amenajarea instalaţiilor de protecţie şi de automatizare ;

— *realizarea împreună cu reprezentanţii furnizorului şi ai montajului a programelor de probe parţiale şi globale*, după ce în prealabil s-au executat în comun verificări minuţioase (sub aspect electric, mecanic, hidraulic) asupra fiecărui element, circuit şi agregat, punîndu-se la punct instalaţiile şi încheindu-se un act prin care se certifică posibilitatea de a da instalaţiile în exploatare de probă sau industrială.

Au fost subliniate numai unele aspecte ale modului de asigurare a calităţii lucrărilor de construcţii-montaj, dar se pot enumera zeci de acţiuni importante depuse pe acest tărîm. Pentru a obţine o imagine sumară a efortului materializat în această direcţie este suficient să fie amintită activitatea laboratoarelor de betoane, controlul calităţii sudurilor, stiloscoparea tuturor elementelor din oţel aliat, verificarea — prin trei comisii — a problemelor importante, fie lucrări ascunse (înglobate în beton), fie centraje, jocuri la agregate rotative.

De aceea, ţinînd seama de rezultatele obţinute, se apreciază ca extrem de eficiente pentru soarta viitoarei centrale electrice acţiunile comune ale proiectantului, ale constructorului, montorului şi energeticianului de exploatare în perioada de realizare a investiţiei.

**3. Calitatea activităţii energeticienilor din exploatare constituie ultima condiţie de importanţă deosebită care determină — în final — valorificarea întregii munci trecute şi asigură obţinerea unui înalt grad de utilizare a capacităţilor de producţie instalate.**

3.1. În legătură cu această problemă s-au scris nenumărate materiale, astfel încît s-ar părea că nu mai este nimic de adăugat. Cu toate acestea, nu este suficient să existe şcoli şi să se respecte formal instrucţiunile, pentru a obţine succesul aşteptat, ci este necesar să se desfăşoare o activitate continuă, cu mult mai complexă şi mai exigentă decît în domeniile legate de maşina propriu-zisă.

Profesiunea de energetician într-o centrală electrică modernă este unică prin specificul său, *neregăsindu-se în nici o altă ramură a industriei*, deoarece reuneşte într-un singur individ pe electrician, pe termotehnician, pe automatist, pe comandant şi pe executant; influenţa activităţii acestuia se răsfrînge atît asupra construcţiilor şi instalaţiilor — extrem de scumpe — pe care le exploatează, cît şi asupra unui *imens teritoriu, cu enorm de mulţi consumatori, cu mult dincolo de cadrul activităţii sale cotidiene.* Formarea şi integrarea energeticianului din centrala electrică nu se poate rezuma la învăţarea şi aplicarea unor instrucţiuni stricte, stereotipe, la manevrarea unor regulamente quasimilitare, ci implică un proces îndelungat de acumulare a unor cunoştinţe teoretice şi practice de specialitate, de căpătare a unei îndemînări şi a unor obişnuinţe care să-l facă apt a realiza în minimum de timp, într-o anumită ordine şi în condiţii de mare precizie, un număr însemnat de operaţii (mintale şi fizice). De judecata echilibrată, de atenţia şi curajul energeticianului depinde — cu toate automatizările şi protecţiile cu care sînt dotate agregatele — soarta siguranţei în exploatarea instalaţiilor, deci gradul lor ridicat de disponibilitate.

Formarea unui colectiv de muncă într-o centrală electrică modernă nu este numai o simplă problemă de angajare de personal pentru completarea unei scheme de organizare — mai mult sau mai puţin adecvată centralei respective — după cum nu poate fi vorba numai de a învăţa un colectiv să respecte un regulament de organizare (chiar dacă atribuţiile sînt bine precizate). Este suficient să lipsească unitatea de acţiune a colectivului, încrederea şi răspunderea reciprocă pentru soarta centralei şi a fiecărui energetician în parte, pentru ca să fie posibilă ruperea echilibrului în funcţionarea întregii centrale, cu urmări variate şi grave.

Plecînd de la premisele dictate de calitatea muncii ce se cere a fi desfăşurată în cadrul centralei electrice s-a acţionat în direcţia formării colectivului şi a menţinerii sale la un nivel de disponibilitate mintală şi fizică cît mai apropiată de nevoile bunului mers al centralei. Primul nucleu al colectivului a fost alcătuit din cadre de ingineri, maiştri, tehnicieni şi muncitori care au lucrat 5—10 ani cu rezultate bune într-o altă centrală şi care s-au dovedit hotărîţi să lucreze în noua centrală, capabili să-şi însuşească noile cunoştinţe şi sarcini. Acest nucleu, constituind circa 20 % din totalul personalului, a preluat asupra sa obligaţia de mare răspundere ca, odată cu propria sa pregătire, să asigure formarea şi integrarea personalului alcătuit din angajaţi veniţi pentru prima oară în centrală. Formarea noului personal s-a realizat prin:

— şcolile de pe lîngă centrală (de specializare, profesională, de maiştri);
— în diferite centrale electrice din ţară;
— instructaje speciale pe şantier în timpul montajului;
— participarea directă la montaj;
— instruirea în cadrul programului de probe, de opriri-porniri şi de exploatare neindustrială.

Unele cadre — puţine la număr — au avut posibilitatea de a face un schimb de experienţă de circa o lună în centralele electrice din ţara care a furnizat echipamentele de bază.

Formarea profesională a fost apoi continuată cu mai multă eficienţă după pornirea primului bloc, cînd instruirea să făcea direct în centrală. Bineînţeles că procesul de însuşire a cunoştinţelor teoretice şi practice, de desăvîrşire a pregătirii specifice continuă pe baza unor programe de instruire (şi autoinstruire) sistematică. În acelaşi timp, este menţinut grupul şcolar de pe lîngă centrală (creat în anul 1962), unde îşi desfăşoară activitatea şcoala profesională, postliceală şi de maiştri (aceste şcoli au fost absolvite de 250 de salariaţi ai centralei).

*Crearea unui climat de muncă* care să stimuleze o activitate plină de iniţiativă, curaj şi pricepere a fost şi *este considerată drept o sarcină de căpetenie a cadrelor de conducere* (la toate nivelurile), ca o necesitate vitală a întregului colectiv. Acest climat favorabil a avut la bază condiţiile politice şi sociale create în ţară şi materializate de organele locale de partid şi a fost alimentat în permanenţă prin:

*a) respectarea principiilor de conducere colectivă, menţinerea unei asistenţe tehnice şi organizatorice* formată din cadrele de conducere: director, ingineri-şefi, şefi de secţii, ateliere şi laboratoare în toate fazele importante de probare, punere în funcţiune şi manevre de răspundere:

*b) menţinerea unei scheme de organizare suficient de clară şi elastică*, concomitent cu *respectarea unui regim de muncă corespunzător*, luîndu-se măsuri organizatorice adecvate (şi adaptate mereu) nevoilor bunului mers al centralei;

*c) analiza cu deosebită grijă a incidentelor* de orice fel prin „*a te pune în locul celui în cauză*", spre a elucida toate cauzele şi implicaţiile, astfel ca pe baza cunoaşterii profunde a situaţiei să se adopte şi să se aplice hotărîrile tehnice şi organizatorice adecvate, *pentru a se preveni repetarea unor fenomene negative* analoage;

*d) cointeresarea morală şi materială faţă de cantitatea şi calitatea muncii*, pentru rezultatele efectiv obţinute, imediat şi în timp;

*e) stimularea unui flux natural*, coerent şi eficient de promovare a personalului;

*f)* rezolvarea cu atenţie a *problemelor sociale ale energeticienilor.*

3.2. *Concretizarea elementelor de climat* în măsurile tehnice luate pe parcursul exploatării, pentru a asigura utilizarea integrală a capacităţilor de producţie are o importanţă deosebită, ea fiind echivalentă operaţiei de culegere a roadelor. În continuare se redau cîteva dintre măsurile realizate.

*3.2.1. Creşterea siguranţei în exploatarea cazanelor*

— La cazanele de 330 t/h ale grupurilor de 100 MW, date fiind frecventele cazuri de spargere a ţevilor supraîncălzitorului-paravan, încă de la punerea lor în funcţiune s-a realizat la iniţiativa centralei şi cu mijloacele existente o injecţie suplimentară, reducîndu-se temperatura aburului în zona respectivă cu 15—20°C, ceea ce a dus la creşterea viabilităţii materialului şi în consecinţă la eliminarea avariilor provocate de spargerile ţevilor.

— Ca urmare a consultării publicaţiilor tehnice de specialitate şi a investigaţiilor făcute asupra comportării la temperaturi şi presiuni ridicate a unor oţeluri perlitice din care sînt confecţionate ultimele trepte ale circuitelor aburului supraîncălzit la cazanele cu circulaţie forţată de 640 t/h de la grupurile de 200 MW, a fost redusă valoarea temperaturii aburului la ieşirea din cazan — pe circuitul de abur viu şi intermediar — cu 15°C, ceea ce înseamnă o creştere apreciabilă a rezistenţei şi a duratei de funcţionare a oţelurilor speciale. S-a prevenit astfel producerea unor defecţiuni grave la supraîncălzitoare, şi la turbine cu consecinţe economice dintre cele mai importante (staţionări îndelungate, materiale costisitoare şi greu de procurat).

— Asigurarea apei de cazan de calitate superioară, printr-un întreg ansamblu de preocupări şi acţiuni, încă de la prima punere a focului, se face astăzi pozitiv resimţită prin aceea că nu se constată depuneri periculoase pe ţevile cazanelor, nu s-au înregistrat spargeri însemnate de ţevi şi nici alte complicaţii datorate infectării aburului sau coroziunilor în zonele de vaporizare intensă.

3.2.2. *Creşterea siguranţei în exploatarea turbinelor*

— În urma unor analize efectuate împreună cu specialiştii fabricii constructoare privind regimul termic al turbinelor de 100 MW, în fazele de descărcare şi de încărcare, au fost modificate vitezele admise de variaţie a parametrilor aburului şi, în consecinţă, a sarcinii, obţinîndu-se astfel o siguranţă sporită în funcţionare. În lumina noii prevederi tehnice s-au reanalizat toate instrucţiunile şi regulamentele de exploatare specifice acestor agregate.

— Pentru asigurarea unei calităţi superioare a uleiului utilizat la ungerea şi la reglajul turboagregatelor de 100 şi de 200 MW şi, legat de aceasta, pentru siguranţa agregatului în sine, s-a trecut la folosirea uleiului aditivat, precedată de spălarea tuturor circuitelor de ulei.

— Asigurarea în permanenţă în circuitul apă-abur a indicilor chimici de înaltă calitate a permis funcţionarea continuă la puterea nominală, fără a fi nevoie de spălări ale turbinelor cu abur saturat, operaţie care comportă riscuri tehnice deosebite. La blocurile de 200 MW s-a asigurat continuu funcţionarea instalaţiei de demineralizare la capacitate nominală, ceea ce a făcut ca în ultimii 3 ani să nu se constate nevoia efectuării de spălări ale paletajului turbinelor.

3.2.3. *Mărirea disponibilităţii grupurilor energetice prin folosirea tehnică şi raţională a posibilităţilor de supraîncărcare*

La grupurile de 100 MW, încă de la punerea în funcţiune, s-a studiat capacitatea de funcţionare cu suprasarcină a agregatelor de bază cazan-turbină-generator, constatîndu-se că — în anumite condiţii — există posibilitatea de funcţionare la puterea de 105—107 MW, ceea ce a adus un spor de putere pe centrală de 20—30 MW (echivalînd cu circa 50 000 000 de lei economisiţi la fondurile de investiţii). Realizarea acestui regim are loc în condiţii tehnice bine determinate, fără a prejudicia siguranţa sau economicitatea instalaţiilor respective.

Din tabelul 1 rezultă clar că — la unele blocuri de 100 MW — de multe ori numărul de ore de utilizare a puterii instalate este mai mare decît numărul de ore de funcţionare a blocului respectiv. Această diferenţă exprimă efectul supraîncărcării agregatelor (deoarece puterea nominală luată în calcul este de 100 MW).

3.2.4. *Creşterea duratei de funcţionare dintre două opriri programate ale blocului*

Durata de funcţionare continuă dintre două opriri reflectă în mod direct calitatea întreţinerii şi a exploatării agregatelor energetice.

Astfel, s-a înregistrat funcţionarea fără nici o oprire a blocului nr. 2, de 100 MW, timp de şase luni, în anul 1970, iar a blocului nr. 5, de 200 MW, timp de opt luni, în cursul anului 1969.

3.2.5. *Mărirea intervalului dintre două reparaţii ale blocului (cu deschiderea turbinei)*

Revizia generală a turbinei prin deschiderea acesteia este o operaţie care necesită un timp îndelungat de staţionare şi un volum apreciabil de muncă. Experienţa dobîndită în funcţionarea acestor agregate, analizele tehnice de fond întreprinse de colectivul CTE Luduş asupra problemelor de exploatare şi de reparaţie, precum şi calitatea lucrărilor efectuate la reviziile ante-

rioare au dus la concluzia că este utilă şi justificată prelungirea duratei de funcţionare dintre două revizii generale. Dacă în primii ani de funcţionare asemenea revizii la blocurile de 100 MW se efectuau la circa doi ani, astăzi reviziile respective se efectuează la circa patru ani.

Turbogeneratorul nr. 3 de 100 MW a înregistrat 4 ani de funcţionare între două revizii generale (1966—1970).

La turbogeneratorul nr. 4 de 100 MW ultima revizie generală cu deschiderea turbinei s-a efectuat în anul 1967.

Efectul economic al acestei măsuri tehnice trebuie privit nu numai prin prisma economiilor de fonduri afectate reparaţiei şi a cheltuielilor pentru plata amortismentelor corespunzătoare perioadei de staţionare, ci mai ales din punctul de vedere al disponibilităţii suplimentare de putere, care, de fapt, reprezintă cel mai mare cîştig pentru economia naţională.

3.2.6. *Adoptarea şi realizarea unui program raţional de probe şi verificări profilactice*

Necesitatea menţinerii unui înalt grad de siguranţă în funcţionarea instalaţiilor energetice impune, mai mult decît în oricare altă ramură de producţie, adoptarea şi realizarea unor programe tehnice de verificări şi de probe atît la instalaţiile aflate în funcţiune, cît şi la cele ce se află în rezervă. Se asigură în felul acesta o garanţie suplimentară a bunei funcţionări a agregatelor, a evitării accidentelor tehnice sau chiar a gravei avarieri a echipamentelor.

În acelaşi timp se are în vedere necesitatea probelor, astfel încît încercările echipamentului (suprasolicitările de probă) să nu prejudicieze integritatea sa sau să fie tehnic nejustificate. Din acest motiv se aplică un program judicios şi minuţios elaborat, de efectuare a probelor profilactice, concomitent cu executarea măsurilor de prevenire a incidentelor în perioada probelor. Programul este specific fiecărui tip de agregat.

3.2.7. *Intervenţii tehnice curajoase la efectuarea unor lucrări speciale*

Este vorba despre intervenţiile ce au fost făcute la unele armături, conducte de înaltă presiune în timpul funcţionării acestora, fără a opri agregatul de bază. Cu o pregătire corespunzătoare din punct de vedere tehnic, dar mai ales al securităţii muncii, s-au eliminat multe neetanşeităţi la armăturile de înaltă presiune (la capac, la presetupă), s-au căptuşit conducte sparte de apă sau abur, de fiecare dată în condiţii de lucru deosebite. S-au evitat de nenumărate ori opriri ale blocurilor de 100 şi de 200 MW, opriri care aduc după sine — de fiecare dată — însemnate pierderi economice.

3.2.8. *Calitatea controlului în exploatare*

Fără a asigura şi a realiza un control sistematic şi de calitate al instalaţiilor energetice nu poate fi concepută funcţionarea sigură şi continuă a centralelor electrice.

Controlul instalaţiilor se realizează în mod permanent de către personalul de serviciu, precum şi de către toate cadrele tehnice, inclusiv conducerile centralelor, asigurîndu-se astfel calitatea controlului, cunoaşterea situaţiei instalaţiilor şi luarea operativă a măsurilor ce se impun.

Controlul nu se rezumă numai la activitatea de exploatare. El se extinde cu aceeaşi atenţie şi în activitatea de întreţinere şi de reparaţii.

3.2.9. *Analiza sistematică a instalaţiilor şi stabilirea măsurilor de îmbunătăţire a funcţionării acestora şi de creştere a siguranţei*

Această activitate ocupă un loc important în preocupările majore ale personalului de conducere care lucrează în centralele electrice.

În decursul exploatării, chiar de la punerea în funcţiune a primului bloc a apărut ca o necesitate primordială studierea şi adoptarea de îmbunătăţiri şi de modernizări tehnice în instalaţii, acţiuni menite să ducă la creşterea siguranţei de funcţionare şi la îmbunătăţirea rezultatelor economice.

În cele ce urmează sînt prezentate cîteva dintre îmbunătăţirile aplicate la CTE Luduş :

— realizarea instalaţiei de aprindere automată a focului şi de supraveghere a arderii la cazanele de 330 t/h ;

— completarea instalaţiilor de protecţie a agregatelor de bază (realizarea protecţiei de pierdere a excitaţiei, de energie activă inversă, de supratensiune la generatoarele de 200 MW) ;

— reconstrucţia instalaţiei de condensat de bază a grupurilor de 200 MW, cu prevederea posibilităţii de izolare individuală a preîncălzitoarelor din circuitul de joasă presiune ;

— modificarea injecţiilor la instalaţiile de reducere-răcire de medie şi de joasă presiune ale blocurilor de 200 MW, prin folosirea condensatului de bază ca mediu de răcire în locul apei de alimentare de înaltă presiune, eliminîndu-se în felul acesta numeroase distrugeri ale armăturilor şi ale organelor de laminare de pe circuitele respective ;

— realizarea unor modificări în circuitele termice ale blocului de 100 MW (sistematizarea unor drenaje, modificări ale circuitelor spre expandoarele din instalaţiile auxiliare) în scopul eliminării posibilităţilor de pătrundere a apei sau a aburului umed în carcasele turbinelor.

3.2.10. *Analiza operativă şi sistematică a calităţii exploatării prin folosirea echipamentului de calcul electronic*

La CTE Iernut-Luduş se află în funcţiune din anul 1968 un calculator electronic de tipul

ARCH-1000, folosit ca instrument de informare asupra calităţii exploatării şi de avertizare a apariţiei unor stări anormale de funcţionare. Acest calculator electronic furnizează date privind mersul economic al fiecărui grup şi pe ansamblul centralei (125 de parametri foarte importanţi), cu precizarea şi identificarea pierderilor în procesul de producere a energiei electrice.

Informaţiile se transmit şi se înscriu orar, la 8 şi la 24 de ore, şi sînt folosite atît de către personalul operativ de exploatare, cît şi de către personalul tehnic, pentru conducerea regimului economic al agregatelor şi analizarea funcţionării centralei.

Calculatorul electronic a devenit un instrument de reală importanţă în analiza operativă a calităţii exploatării agregatelor energetice.

## Concluzii

— În contractele de livrare a echipamentelor centralei electrice trebuie precizate condiţiile de fiabilitate a furniturii; se impune mărirea perioadei de garanţie la minimum 3 ani din momentul punerii în funcţiune a echipamentelor.

— Utilizarea integrală a capacităţilor de producţie instalate într-o centrală electrică este o funcţie complexă, ce depinde de trei elemente fundamentale, şi anume:

— calitatea echipamentelor;

— calitatea proiectului, a realizării construcţiilor şi a montajului;

— calitatea activităţii energeticienilor din exploatare.

Este drept, într-o anumită măsură influenţează şi încărcarea ordonată de dispecerul naţional, dar cu cît centrala funcţionează mai sigur şi cu un randament mai ridicat, cu atît ea este mai mult solicitată de dispecer către nivelul puterii nominale (bineînţeles, dacă nu apar unele condiţionări motivate de politica utilizării combustibililor).

— Menţinerea unui climat de muncă corespunzător, cu o stabilitate foarte ridicată a energeticienilor în CTE, reprezintă condiţia fundamentală de obţinere a unui înalt grad de utilizare a capacităţilor de producţie instalate, de valorificare eficientă a muncii depuse la fabricarea echipamentelor, la construirea centralei şi la asigurarea combustibilului centralei (care în structura preţului de cost al CTE Iernut-Luduş reprezintă 76 %), concomitent cu asigurarea puterii şi a energiei solicitată de industrie, agricultură şi consumul casnic.

— Utilizarea integrală a puterii instalate într-o centrală electrică trebuie privită prin prisma repetării în condiţii de mare stabilitate a performanţelor, timp îndelungat (de ordinul deceniilor), în deplină securitate pentru personal şi cu maximă siguranţă pentru instalaţii.

— Atingerea valorii de proiect şi chiar depăşirea duratei de utilizare a puterii instalate în CTE este una dintre condiţiile hotărîtoare a reducerii preţului de cost al energiei electrice livrate şi de mărire a eficienţei economice a activităţii în CTE.

**ANEXA 1**

În domeniul producerii energiei electrice, *indicatorul de utilizare* a capacităţilor de producţie are următoarele forme de exprimare:

1. *Coeficientul de disponibilitate*

$$K_d = \frac{P_d}{P_i}$$

în care

$P_i$ este puterea instalată (de regulă, puterea nominală a agregatelor de bază), MW;

$P_d$ — puterea disponibilă (exprimată ca valoare medie realizată pe o perioadă de timp determinată), MW.

Acest coeficient caracterizează gradul de pregătire a instalaţiilor pentru a satisface cerinţele de putere ale consumatorilor (prin sistemul energetic). El poate varia la CTE moderne între 0,75 şi 0,88.

2. *Coeficientul de utilizare*

$$K_u = \frac{P_p}{P_i}$$

în care

$P_p$ este puterea produsă efectiv şi pusă la dispoziţia sistemului energetic ($P_p \leqslant P_d$). În anumite condiţii tehnice favorabile se pot supraîncărca blocurile cu 3–8 %, ceea ce face ca $P_p > P_i$; $P_p$ se exprimă analog cu $P_d$.

În centralele moderne şi bine puse la punct $K_u$ atinge valoarea de 0,84–0,86.

*Observaţie.* Uneori pentru a caracteriza gradul de folosire a puterii instalate se întrebuinţează şi *coeficientul de utilizare în cadrul disponibilităţii* $K_{ud} = \frac{P_p}{P_d}$.

Acest coeficient atinge de obicei valori cuprinse între 0,9 şi 0,95.

3. Expresiile cifrice — în h/an — de disponibilitate a instalaţiilor, de funcţionare a agregatelor şi, în final, cifra esenţială, *numărul de ore de utilizare a puterii instalate*, caracterizează nivelul de folosire a capacităţilor de producţie instalate.

Fără a absolutiza specificul energetic, care — datorită consumatorilor — nu poate admite decît tratarea foarte exigentă a indisponibilităţilor, totuşi criteriul fundamental, capabil să caracterizeze gradul de utilizare a capacităţilor de producţie, rămîne expresia cifrică a *duratei de utilizare a puterii instalate exprimată prin relaţia*:

$$t_i = \frac{E}{P_i} \text{ (h/an)}$$

în care $E$ (kWh/an) reprezintă energia electrică produsă în decursul anului luat în calcul de către puterea $P_i$ (kW) luată în consideraţie ca o putere medie instalată în anul de calcul.

**ANEXA 2**

**Prezentarea sumară a CTE Iernut**

Puterea instalată, de 800 MW, este realizată de patru blocuri a cîte 100 MW (furnitură R.S.C.) şi de două blocuri de cîte 200 MW (furnitură U.R.S.S.). Centrala este de tipul cu

pură condensaţie, utilizînd ca unic combustibil gazul metan. Parametrii nominali ai aburului viu sînt : 140 at/570°C, iar ai celui intermediar : 27 at/540°C la B—100, respectiv 21 at/570°C la B—200. Apa de răcire este în circuit mixt.

**ANEXA 3**

**Durata de utilizare a puterii instalate**

1. *R.S. România*

| Durata de utilizare, h/an — Anul | 1960 | 1965 | 1968 | 1969 |
|---|---|---|---|---|
| Raportată la puterea medie instalată în centralele termo şi pe total R.S.R. | (4 630)<br>4 758 | (5 800)<br>5 843 | (5 630)<br>4 983 | (5 220)<br>5 821 |
| Raportată la puterea medie instalată în centralele M.E.E. | 5 552 | 6 240 | 5 194 | 6 189 |

2. *Unele ţări socialiste*

| Durata de utilizare a puterii medii instalate în centralele electrice publice, h/an — Anul | 1960 | 1965 | 1967 | 1968 |
|---|---|---|---|---|
| Bulgaria | 5 536 | 5 223 | 5 302 | 4 760 |
| Cehoslovacia | 4 804 | 4 304 | 4 269 | 4 353 |
| R.D.G. | 6 027 | 5 932 | 5 620 | 5 396 |
| Polonia | 5 301 | 5 031 | 5 250 | 5 230 |
| România | 5 552 | 6 240 | 5 353 | 5 194 |
| Ungaria | 5 523 | 6 095 | 6 086 | 5 827 |
| U.R.S.S. | 5 377 | 5 288 | 5 111 | 5 205 |

3. *Alte ţări*

| Durata de utilizare obţinută în centralele termoelectrice din ţări puternic industrializate h/an — Anul | 1960 | 1964 | 1970 |
|---|---|---|---|
| S.U.A. | 4 550<br>(152)* | 4 580<br>(196) | 4 840<br>(261) |
| Anglia | 3 900<br>(32) | 4 130<br>(39) | 3 560<br>(67) |
| Japonia | 5 180<br>(11) | 4 820<br>(23) | 4 900<br>(43) |
| R.F. a Germaniei | 4 270<br>(22) | 4 550<br>(30) | 4 779<br>(50) |
| Franţa | 3 180<br>(10) | 5 200<br>(12) | 4 720<br>(19) |

* Cifrele din paranteză exprimă puterea medie instalată în CTE, exprimată în GW, ce a fost luată în calcul.

Centrala este amplasată pe malul stîng al Mureşului, într-o zonă neinundabilă, situată între comunele Cuci şi Iernut. Încadrarea ei în sistemul energetic naţional este asigurată prin staţii şi linii electrice de 110 kV (opt linii) şi de 220 kV (patru linii), iar cu o linie de 400 kV se exportă energia electrică în sistemul energetic al ţărilor vecine.

Cele mai bune rezultate obţinute în Franţa au fost la CTE Artix (3×125 MW), $t_i$ = 7 500 h/an şi la CTE Champagne (grupuri de 250 MW), $t_i$ = 6 600 h/an, iar în Italia, la CTE Genova (grupuri de 160 MW), $t_i$ = 7 600 h/an.

**(Articol intrat în redacţie la 13 mai 1972)**

# Staţiile de conexiuni şi transformare de la CHE Porţile de Fier, circuite secundare, servicii proprii şi instalaţii auxiliare

Ing. **P. Raşcu***)

## 1. Instalaţii de comandă, de măsură, de semnalizare, protecţie şi automatizare

### 1.1. *Organizarea circuitelor secundare*

Pentru exploatarea staţiilor de transformare şi conexiuni s-a adoptat amplasarea descentralizată a echipamentelor de circuite secundare, soluţie care asigură o rezolvare economică şi sigură în funcţionarea instalaţiilor.

În principiu fiecare celulă dispune de o cutie de cleme proprie, iar în staţiile exterioare de 400 şi de 220 kV sînt realizate în plus cabine zidite pentru montarea locală a echipamentelor de circuite secundare, cîte o cabină pentru două celule.

Pentru exploatarea instalaţiilor la parterul clădirii staţiei s-a realizat un punct de supraveghere centralizată, care cuprinde un număr de panouri aferente numai staţiilor de conexiuni, pentru instalaţiile din centrală fiind realizată o cameră de comandă separată, cu personal de exploatare separat de cel al staţiilor de transformare şi conexiuni.

### 1.2. *Soluţii constructive*

Cabinele din staţiile exterioare de 400 şi de 220 kV cuprind cîte două şiruri de patru panouri, dintre care unul conţine schema sinoptică a circuitului, de unde se pot comanda la distanţă aparatele de comutare. Pe aceste panouri mai sînt montate : un număr minim de aparate de măsură indicatoare, contoarele de energie electrică, releele de protecţie şi de semnalizare, oscilopertubograful etc.

*) Paul Raşcu este consilier şi şeful de proiect complex al lucrării la I.S.P.E.

Stațiile de 22 și de 6 kV au releele de protecție montate în general în cutiile de cleme situate la celule.

Panourile din camera de comandă centralizată, dispuse în arc de cerc, conțin schemele sinoptice pe tensiuni, cu cheile de comandă de la distanță a separatoarelor și întreruptoarelor din toate stațiile de conexiuni și numai parțial de la 6 kV.

În conturul panourilor principale din camera de comandă se mai află și panourile destinate aparatelor înregistratoare de putere activă, reactivă și de tensiune.

În spatele panourilor de comandă se situează o serie de panouri pentru montarea echipamentelor de protecție a stației de 110 kV, a protecțiilor diferențiale a unităților de transformatoare, precum și unele semnalizări și automatizări speciale.

Sistemele de protecție și de automatizare cu care sînt dotate circuitele schemelor de conexiuni realizează o funcționare sigură și economică a tuturor instalațiilor electrice.

### 1.3. *Gospodăria cablurilor*

Datorită adoptării soluției de realizare descentralizată a circuitelor secundare, fluxul cablurilor de circuite secundare este mult redus. În incinta tuturor stațiilor de conexiuni cablurile de circuite secundare sînt montate numai în canale. În celulele stațiilor exterioare s-au utilizat canale de cabluri executate din elemente prefabricate așezate liber pe sol. Între celulele stațiilor exterioare s-au utilizat canale de cabluri monolit îngropate în sol.

Cablurile sînt cu conductoare din cupru, cu izolație din vinilin, armate și cu manta exterioară de protecție din material plastic. În stația de 400 kV s-au folosit cabluri avînd în plus ecrane speciale de protecție sau cabluri în manta de plumb.

Cablurile de forță de 6 kV, ce fac legătura cu stația de 6 kV, cu centrala și cu consumatorii locali, au trasee organizate în incinta stațiilor prin canale de cabluri corespunzătoare.

Deoarece legătura dintre stațiile de conexiuni de 220 și de 400 kV s-a putut realiza aerian numai pentru unul dintre autotransformatoarele de putere de 400/231/22 kV, pentru racordul celui de-al doilea autotransformator au fost utilizate cabluri de 220 și de 400 kV. Cablurile de 220 kV pentru unul dintre autotransformatoare au fost montate în canale și tuneluri utilizate în comun și de cablurile de 220 kV, de racord al generatoarelor cu transformatoarele-bloc din centrală.

Toate cablurile de 220 kV pentru generatoare și autotransformatoare sînt de aceeași construcție și au aceleași performanțe.

Cablurile de 400 kV s-au îngropat direct în sol, între autotransformatorul respectiv și stația de 400 kV.

Caracteristicile de bază și furnizorul cablurilor de forță de foarte înaltă tensiune sînt indicate în tabelul 1.

## 2. Servicii proprii și instalații auxiliare

### 2.1. *Servicii proprii*

Serviciile proprii ale stațiilor de transformare și conexiuni cuprind instalații pentru alimentarea în curent alternativ și în curent continuu.

Schema de alimentare a consumatorilor în curent alternativ conține două secții de bare de 380/220 V, legate printr-o cuplă. Fiecare secție poate fi alimentată printr-un transformator de 630 kVA — 6/0,4 kV, unul dintre acestea fiind racordat în stația locală de 6 kV, iar al doilea în stația de 6 kV de la centrală.

*Tabelul 1*

**Caracteristicile principale ale cablurilor de 220 și de 400 kV**

| Denumirea caracteristicii | Unitatea de măsură | Cabluri 220 kV | Cabluri 400 kV |
|---|---|---|---|
| — Tipul constructiv: material conductor/izolație/ /armătură/manta exterioară | — | Cu/H/ Pb/Y | Cu/H/ Pb/Y |
| — Răcirea | — | ulei sub presiune | ulei sub presiune |
| — Gradientul de tensiune | kV/cm | 140 | 140 |
| — Secțiunea conductorului activ | mm² | 300 | 350 |
| — Numărul cablurilor pe o fază | nr. | 2 | 1 |
| — Intensitatea nominală pe un cablu | A | 525 | 580 |
| — Diametrul exterior | mm | 66 | 110 |
| — Greutatea unitară | kg/m | 12 | 28,4 |
| — Numărul legăturilor la pămînt ale armăturii | nr. | 2 | 1 |
| — Locul de montaj | — | în tunel și în canal | îngropat în pămînt |
| — Firma furnizoare | — | BICC— Anglia | BICC— Anglia |

Stația de 6 kV locală, dotată cu bare colectoare duble, alimentează de pe o bară consumatorii învecinați, iar de pe cealaltă bară, serviciile proprii ale stației și alți consumatori importanți din zonă. În caz de avarie pe barele colectoare, cupla transversală separă rapid barele între ele. Stația de 6 kV locală este alimentată printr-un transformator 110/6 kV — —10 MVA. Alimentarea barelor de 6 kV din centrală se poate face fie de la bornele generatoarelor, printr-o transformare corespunzătoare, fie de la barele de 6 kV alimentate de transformatoarele de 6,3 kV — 22/6 kV, racordate la stația de 22 kV.

Distribuţia energiei la consumatori se poate face în principiu de pe fiecare secţie de bare, echipamentele respective fiind montate pe opt panouri dispuse într-o încăpere din clădirea staţiei.

Schema de alimentare a consumatorilor în curent continuu cuprinde două secţii de bare de 220 V, legate între ele printr-o cuplă.

Serviciile proprii mai cuprind şi o baterie de acumulatoare de tipul LS-12, 220 V cu 108 elemente cu plăci de plumb, avînd o priză fixă după elementul 90. Bateria este montată la etajul clădirii staţiei, într-o încăpere separată, şi funcţionează în regim-tampon.

Distribuţia energiei la consumatori se poate face în principiu de pe orice secţie de bare, echipamentele respective fiind montate pe patru panouri dispuse într-o încăpere separată din clădirea staţiei. În aceeaşi încăpere sînt montate şi două redresoare cu siliciu de 100 A, 220 V, fiecare putînd debita pe cîte o secţie de bare.

*2.2. Instalaţii auxiliare*

Staţiile de conexiuni sînt protejate împotriva loviturilor directe ale trăsnetelor cu tije metalice avînd înălţimi de 6 şi de 8 m, dispuse pe cadre şi pe clădirea staţiei, în zona autotransformatoarelor.

În toate staţiile de conexiuni, ca şi în clădirea staţiei, este realizată o centură de protecţie de legare la pămînt. Priza de legare la pămînt executată în incinta staţiilor exterioare este realizată din ţevi de 3 m lungime şi benzi de 50 × 8 mm, din oţel negru, sudate între ele.

Rezistenţa totală a prizei de legare la pămînt este dimensionată pentru valoarea de 0,2 ohmi, pentru a reduce în limite acceptabile tensiunile de pas în caz de avarie în staţie sau în apropierea ei, ca şi influenţele în liniile de telecomunicaţii vecine.

În afara măsurilor obişnuite de combatere a incendiilor şi de localizare a efectelor lor în staţie (etanşări în canalele de cabluri, canalizări ale uleiului, ziduri antifoc etc.), toate unităţile de transformare au fost echipate cu instalaţii de sesizare automată a incendiilor şi de stingere cu apă pulverizată.

În acest scop în jurul tuturor unităţilor de transformare şi bobinelor de compensare montate în exterior sînt realizate caje de ţevi pentru apa de stingere a incendiilor. Pentru funcţionarea automată a instalaţiei de incendiu s-a realizat şi o instalaţie de producere a aerului comprimat compusă din două compresoare cu debitul de 200 l/min, la o presiune de producere de 10 ata.

*2.3. Instalaţii de telecomunicaţii*

Instalaţiile de curenţi slabi cuprind atît telefonia pe joasă cît şi pe înaltă frecvenţă. În instalaţie sînt prevăzute circuite interurbane şi telefonice sau prize telefonice în toate punctele importante din staţiile de conexiuni şi ale clădirii staţiei.

Instalaţiile pe înaltă frecvenţă cuprind circuite de telemecanică, de telefonie şi pentru mărimi-program. Instalaţia de telemecanică funcţionînd prin transmisiuni ciclice cuprinde telesemnalizări de poziţie, telemăsuri de puteri active şi reactive de frecvenţă şi de tensiune. Instalaţia de telefonie cuprinde circuite de telecomunicaţii, telemecanică şi telex. Pe liniile de 400 kV sînt prevăzute şi instalaţii de teleprotecţie. Instalaţia pentru mărimi-program este în funcţiune numai în prima etapă de funcţionare a centralei, păstrîndu-se o valoare-program de putere prin încărcarea sau descărcarea automată a grupurilor centralei.

**3. Lucrări de construcţii şi instalaţii anexe construcţiilor**

*3.1. Organizarea teritoriului*

Pentru a uşura exploatarea şi supravegherea instalaţiilor exterioare s-a adoptat soluţia de realizare a staţiilor exterioare pe o platformă plană cu o uşoară înclinare spre Dunăre şi spre aval, ceea ce a necesitat executarea unor ziduri de sprijin înalte înspre munte şi mari umpluturi de pămînt spre ecluză.

La nivelul platformelor staţiilor exterioare s-a asigurat un acces rutier, iar în zona de amplasare a circuitelor de transformare şi un racord de cale ferată cu derivaţiile necesare, care fac legătura şi cu platforma de montaj din centrală.

În incinta staţiilor de conexiuni, împrejmuite cu gard din plasă de sîrmă, s-a creat o reţea de drumuri betonate pe lîngă toate laturile împrejmuirii şi prin faţa şirurilor de întreruptoare. Spaţiile libere dintre fundaţiile aparatelor au fost însămînţate cu iarbă.

*3.2. Soluţii constructive*

Pentru executarea stîlpilor de întindere a conductoarelor electrice în staţiile exterioare, datorită soluţiei constructive adoptate, care necesită un număr mare de îmbinări între stîlpi şi rigle, şi ca urmare a condiţiilor impuse de terenul disponibil, s-a luat hotărîrea de a le executa din metal. Pentru alegerea tipului constructiv al stîlpilor, s-au comparat soluţiile uzuale cu cadre spaţiale formate din grinzi cu zăbrele, cadre tip Vierendeel (în scară) şi cheson (profiluri închise). Deşi ultima soluţie necesită un consum de metal cu circa 10—12 % mai mare decît prima soluţie, ea a fost preferată, întrucît conduce la cea mai mică suprafaţă la bază a stîlpilor şi la o mare claritate a instalaţiilor.

Toate echipamentele electrice au fost montate în staţiile exterioare pe suporturi prefabricate din beton armat centrifugat. Cablurile de circuite secundare în celulele staţiilor exterioare au fost montate pentru prima oară în ţară în

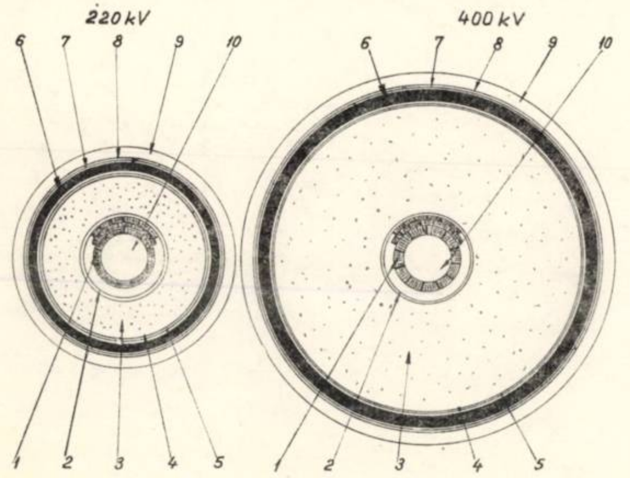



Fig. 1. Secțiuni caracteristice prin cablurile de 220 și de 400 kV.

*Secțiuni schematice prin cablurile monofilare de înaltă tensiune executate de firma BICC — Anglia*

| Poz. | Denumirea | Materialul | Grosimea rad. minimă, mm | Diametrul nominal, mm | Grosimea rad. minimă, mm | Diametrul nominal, mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | cablu de 300 mm² | 220 kV | cablu de 350 mm² | 400 kV |
| 1 | Conductor | Cupru | — | 23,8 | — | 25,6 |
| 2 | Ecran | Hîrtie carbon metalizată | 0,25 | 24,3 | 0,25 | 26,1 |
| 3 | Izolație | Hîrtie | 13,45 | 51,9 | 33,5 | 94,1 |
| 4 | Ecran | Hîrtie carbon metalizată | 0,25 | 52,5 | 0,25 | 94,6 |
| 5 | Bandă de legătură | Bandă din țesătură de cupru | 0,32 | 53,2 | 0,32 | 95,2 |
| 6 | Manta | Plumb | 2,16 | 58,3 | 3,10 | 101,8 |
| 7 | Strat protector | Bumbac cu bitum | 0,30 | 58,6 | 0,30 | 102,4 |
| 8 | Armătură | Bandă de bronz cositorit | 0,10 | 58,9 | 0,18 | 102,7 |
| 9 | Protecție | P.V.C. extrudat | 3,0 | 66,0 | 3,6 | 110,0 |
| 10 | Canal central pentru ulei | — | — | — | — | — |

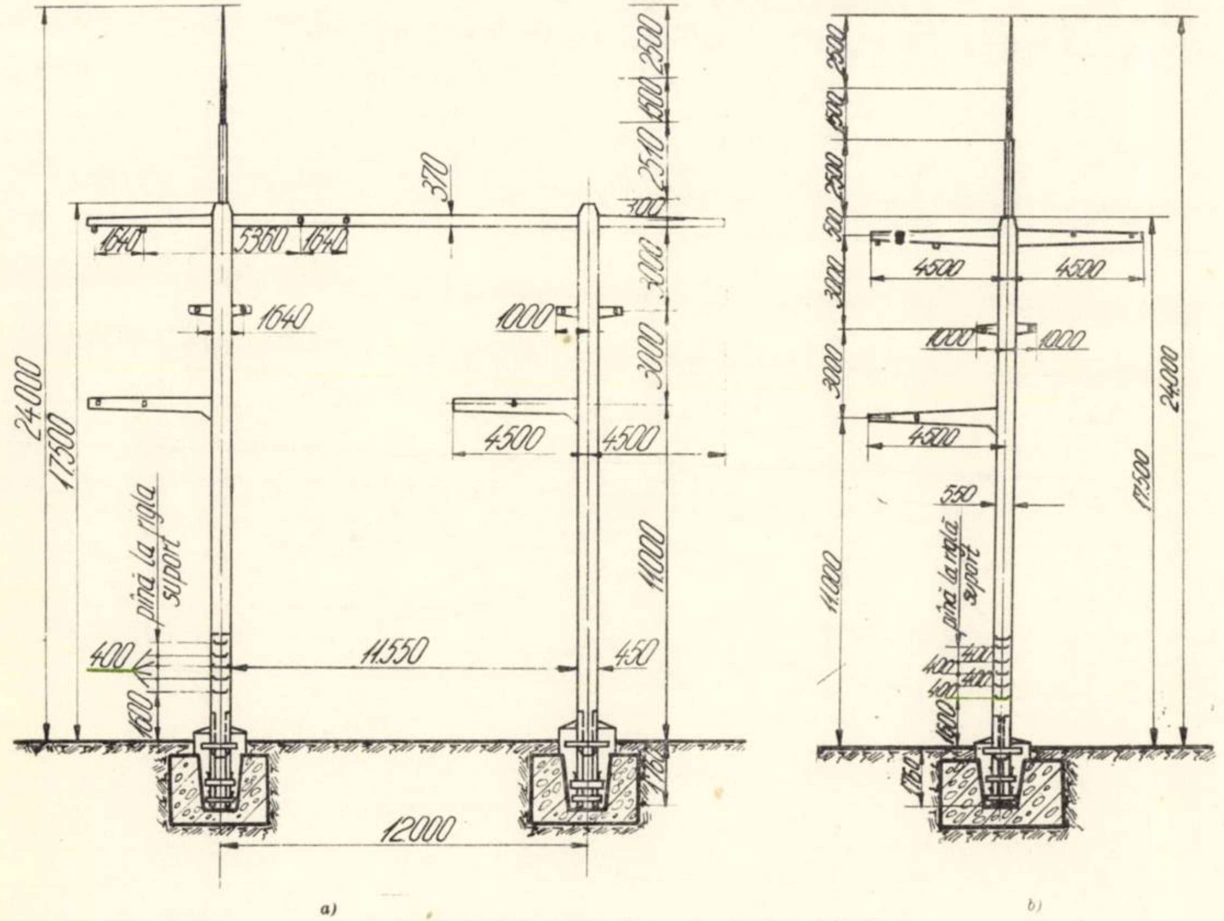



Fig. 2. Cadre metalice cheson în stația de 220 kV.

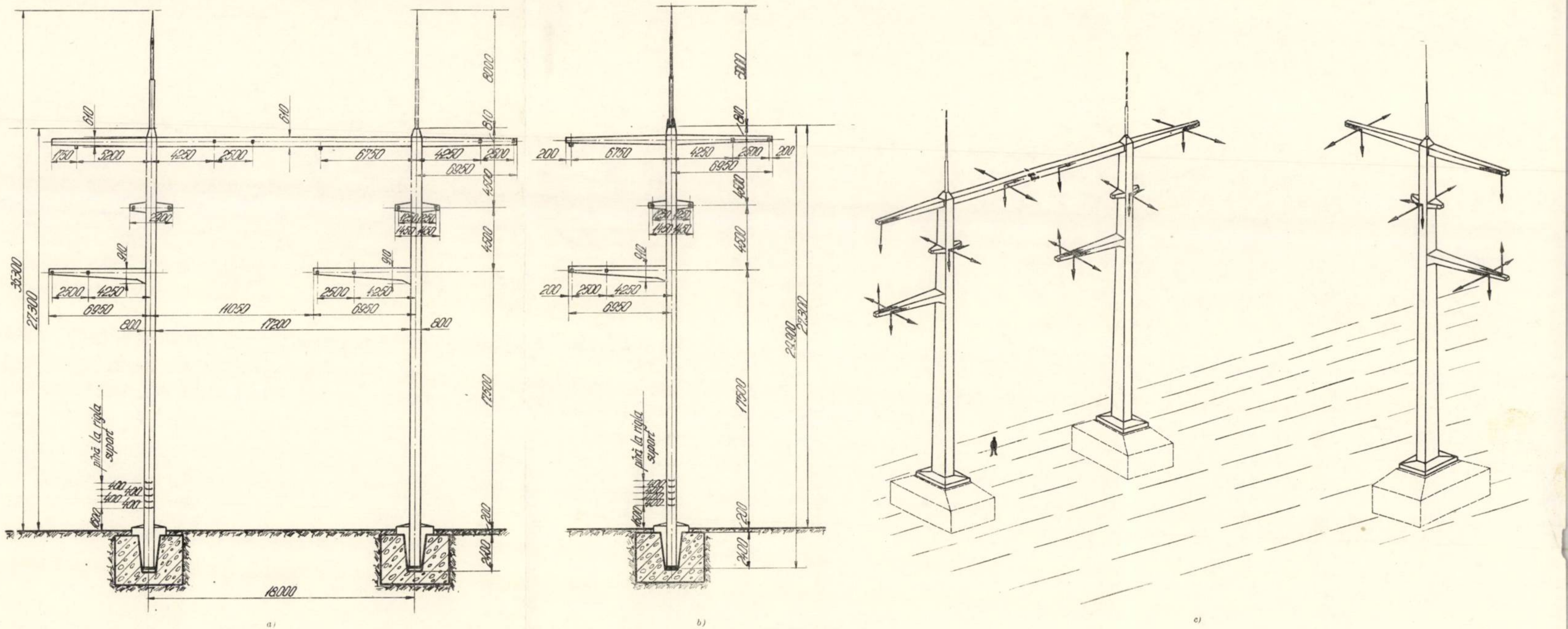



Fig. 3. Cadre metalice cheson în stația de 400 kV.

canale prefabricate cu înălţime foarte mică, aşezate direct pe sol. Pe traseele mai aglomerate s-au dispus cîte două astfel de canale alăturat, constituind în acelaşi timp alei de acces pentru personalul de exploatare.

Acest tip de canale de cabluri s-a dovedit deosebit de avantajos, asigurînd o scurgere nestînjenită a apelor meteorice, de pe platforma staţiilor şi o montare uşoară şi rapidă în timpul execuţiei lucrărilor. Clădirea pentru staţiile de conexiuni interioare, pentru instalaţiile auxiliare şi pentru punctul de comandă (formată din două corpuri) este amplasată în centrul instalaţiilor, între staţiile de 220 şi de 400 kV. Primul corp de clădire, paralel cu Dunărea, dispune de două niveluri, avînd la parter panourile de comandă, panourile de servicii proprii şi alte încăperi funcţionale, iar la etaj bateria de acumulatoare şi staţia de 6 kV.

Al doilea corp de clădire, cu un singur nivel, dispus perpendicular pe primul, adăposteşte staţia de 22 kV. Dispoziţia ansamblului clădirii urmăreşte scopuri funcţionale, asigurînd numai racorduri în conductoare neizolate la unităţile de transformare din jur.

Clădirea nu dispune de spaţii administrative şi de birouri, întrucît, conform concepţiei iniţiale, schimbată pe parcursul realizării lucrării, în acest amplasament nu urma să existe personal permanent de exploatare, ansamblul staţiilor de conexiuni şi centrala urmînd să aibă o conducere unică, dintr-o cameră de comandă situată în centrală.

În noua situaţie, încăperile administrative necesare se găsesc într-un corp de clădire din apropiere, construit din timpul şantierului de execuţie a centralei.

### 3.3. *Instalaţii anexe construcţiilor*

Pentru asigurarea unei bune exploatări, staţiile de conexiuni dispun de un iluminat normal, fluorescent, şi un iluminat de avarie, incandescent, prevăzut în toate locurile indicate. Pentru a permite realizarea unor economii în exploatare, iluminatul normal al staţiilor exterioare se poate aprinde în tranşe, pe una, două sau trei faze, reţelele respective fiind întrepătrunse pe teritoriul staţiilor.

În toate spaţiile în care este prevăzută staţionarea personalului de exploatare, precum şi acolo unde echipamentele necesită o temperatură mai mare decît cea naturală, s-au prevăzut instalaţii de încălzire racordate la centrala termică a ansamblului hidroelectric.

În staţiile de conexiuni interioare este prevăzută o ventilaţie pentru îndepărtarea fumului în caz de avarii. De asemenea, în încăperea bateriei de acumulatoare şi în anexele respective este prevăzută o instalaţie de ventilare mecanică.

## 4. Nivelul tehnic al soluţiilor adoptate în staţiile de conexiuni şi de transformare

Avîndu-se în vedere condiţiile particulare impuse de ansamblul lucrărilor de la Porţile de Fier, a fost necesar să se adopte cele mai adecvate soluţii pentru realizarea staţiilor de conexiuni electrice, rezolvări care în multe cazuri se detaşează de soluţiile uzuale, unele dintre ele avînd caracter de originalitate în tehnica de specialitate (dispoziţia barelor colectoare în plan înclinat) sau de unicate pentru instalaţiile energetice din ţara noastră (cadre metalice cheson, canale supraterane prefabricate, utilizarea racordurilor în cabluri de 220 şi de 400 kV, montarea autotransformatoarelor etc.).

Soluţiile alese au permis realizarea, la profilul stabilit al instalaţiilor (schema cu bare duble şi bare de transfer), a celei mai mici lăţimi pentru staţiile de conexiuni de 220 kV (80 m) şi de 400 kV (116 m), a celei mai mici suprafeţe ocupate de celulele de linie, a celei mai mici valori specifice pentru lungimea cumulată a stîlpilor şi a riglelor pe celulă, a numărului celui mai redus de fundaţii de stîlpi ce revin pe celulă, precum şi valori ale lungimii medii a căilor de curent în celulă practic egale cu valorile celor mai moderne instalaţii similare din străinătate.

Ţinînd seama de cele expuse, se constată că concepţia tehnică a staţiilor de conexiuni şi de transformare de la centrala Porţile de Fier se situează la nivelul cel mai înalt al tehnicii de specialitate, corespunzînd în acelaşi timp în mod optim condiţiilor specifice ale lucrării.

(Articol intrat în redacţie la 13 aprilie 1972)

# Stabilirea soluţiilor de dezvoltare a reţelelor electrice urbane pe baza analizei economice de ansamblu

Ing. Ş. Tarnavschi*)

Creşterea accentuată a consumului urban este un fapt înregistrat pe plan mondial, dar în legătură cu modul de concepţie şi de realizare a reţelelor de distribuţie apar deosebiri de la o ţară la alta. Aceasta este o consecinţă directă a faptului că, pe de o parte, există mai multe posibilităţi de realizare a soluţiilor care să corespundă din punct de vedere tehnic unor criterii impuse, iar, pe de altă parte, este necesar să se ia în consideraţie atît posibilităţile de achiziţionare cît şi rapoartele existente între preţurile diverselor tipuri de materiale şi echipament, elemente ce diferă de la o ţară la alta.

Tendinţa generală de ridicare a performanţelor tehnice în domeniul reţelelor de distribuţie implică îmbunătăţirea continuă a caracteristicilor materialelor şi echipamentelor, a soluţiilor utilizate, asimilarea unor produse noi la parametri superiori. În acest domeniu este necesar ca eforturile să se îndrepte cu prioritate spre acele direcţii care să asigure, pe ansamblu, rezolvarea optimă economic a problemelor tehnice. Rezultă astfel utilitatea extinderii analizei tehnico-economice de la obiectivele individualizate, la ansambluri (grupuri) de obiective [1], [2].

Într-o lucrare anterioară [12] s-au arătat posibilităţile de aplicare a metodei „ramificare şi frontiere" [3] la efectuarea analizei de grup, în cazul simplificat al unui număr de obiective (reţele urbane) pentru care se cunosc mai multe variante posibile de dezvoltare; variantele aflate în zona de optim „individual" necesită utilizarea unor tipuri de materiale ale căror cantităţi totale disponibile sînt, într-o primă etapă, limitate (în algoritmul prezentat se lua în consideraţie cîte un singur tip de material „deficitar" pentru o variantă). În astfel de situaţii, în general, nu este posibil să se aleagă pentru fiecare obiectiv varianta optimă; datorită restricţiilor privind stocurile totale disponibile şi în funcţie de cantităţile parţiale necesitate de fiecare variantă în parte, pentru unele obiective va rezulta obligaţia de a adopta soluţii care să nu fie optime. S-a arătat [12] posibilitatea ca în astfel de cazuri să se aleagă pentru fiecare obiectiv acea variantă care să conducă pe ansamblu la un cost total minim.

În stadiul actual al planificării reţelelor electrice urbane, pentru majoritatea tipurilor de materiale, echipament etc., necesare realizării obiectivelor în diversele variante posibile, trebuie considerate restricţii din punctul de vedere al stocului disponibil (deci nu numai pentru un singur tip). De asemenea, prezintă interes efectuarea calculelor în ipoteza existenţei unei prognoze (sau a unor variante de prognoză) a stocurilor disponibile din materialele de diverse tipuri. Dacă se are în vedere gama largă a soluţiilor cunoscute pentru ridicarea performanţelor tehnice ale reţelelor, efectuarea analizelor economice de ansamblu permite o corelare mai judicioasă a deciziilor cu posibilităţile (existente şi de perspectivă), prin luarea în consideraţie a legăturilor (interdependenţei) şi a posibilităţilor de cooperare între ramuri.

## 1. Probleme ale dezvoltării reţelelor de distribuţie urbană de înaltă şi de medie tensiune

Datorită restricţiilor specifice aglomerărilor urbane, o mare parte dintre preocupările actuale sînt concentrate în direcţia adoptării acelor soluţii care să ducă, în condiţii economic avan-

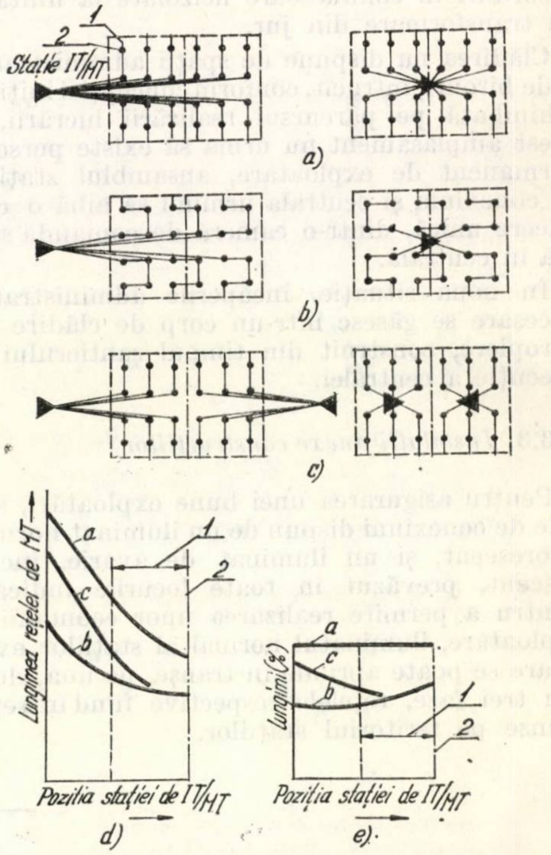



Fig. 1. Efectul modificării tensiunii de distribuţie, a amplasamentului şi a numărului staţiilor de injecţie.

*a*) Staţie de injecţie în amplasamente diferite şi tensiune de distribuţie $U = U_0$: *1* — distribuitor de medie tensiune; *2* — sarcină; *b*) Staţie de injecţie în amplasamente diferite şi tensiune de distribuţie $U = 2U_0$; *c*) Două staţii de injecţie în amplasamente diferite (simetrice) şi $U = U_0$; *d*) Variaţia lungimii totale a distribuitoarelor de medie tensiune în funcţie de amplasamentul staţiilor pentru variantele *a*, *b* şi *c*: *1* — zona de distribuţie; *2* — axul zonei de distribuţie; *e*) Comparaţie între lungimile totale ale distribuitoarelor de medie tensiune în variantele *b* şi *c*, faţă de variantele a: *1* — zona de distribuţie; *2* — axul zonei de distribuţie.

Notă: În cazurile *a*, *b* şi *c* se menţine constantă secţiunea distribuitoarelor.

*) Şerban Tarnavschi este inginer proiectant la I.S.P.E. — Bucureşti.

tajoase, la reducerea spaţiilor necesare amplasării diverselor instalaţii precum şi a lungimii traseelor liniilor electrice.

După cum rezultă din figura 1, în cazul reţelelor de medie tensiune, la o distribuţie dată a consumatorilor (posturi de transformare de medie tensiune/joasă tensiune) şi pentru aceeaşi secţiune a cablurilor, una dintre soluţiile prin care se poate reduce lungimea totală a traseelor constă în ridicarea tensiunii de distribuţie. Din punct de vedere tehnic avantajul este cu atît mai mare cu cît staţia de injecţie (înaltă tensiune/medie tensiune) este amplasată mai departe de zona de consum. Economicitatea soluţiei este puternic influenţată de valoarea raportului dintre preţul cablurilor la cele două tensiuni.

În ultimii ani, I.S.P.E. a elaborat, pentru oraşele din R.S. România care au sub 200 000 de locuitori, considerate „izolat'', studii ce au analizat într-o perspectivă largă (30 de ani), variante de dezvoltare a reţelelor de medie tensiune la 6, 10 şi 20 kV [10], [11]. Studiile au plecat de la premisa că staţiile de 110 kV/ /medie tensiune vor avea cel mult două transformatoare (în vederea simplificării schemelor), iar puterea instalată în posturile de transformare de medie/joasă tensiune va fi de 400—630 kVA.

Concluziile stabilite în legătură cu tensiunea de perspectivă, ţinînd seama de actualele preţuri, sînt următoarele :

— pentru noile mari ansambluri urbanistice care urmează a fi construite, realizarea distribuţiei de medie tensiune la 10 kV este cea mai avantajoasă ;

— trecerea treptată a reţelelor de 6 kV la 10 kV este cu atît mai avantajoasă cu cît ritmul de creştere al consumului (prevăzut) este mai mare, reţeaua de distribuţie existentă este într-o stare mai rea, există o cantitate mai mare de cabluri de 10 kV exploatate la 6 kV ;

— în zonele mari, modernizate, în care este dezvoltată o reţea de distribuţie la 6 kV de construcţie recentă, s-a optat pentru menţinerea soluţiei respective (la 6 kV), urmînd ca alimentarea unor eventuali noi consumatori mai importanţi să fie studiată în mod detaliat (reţeaua existentă este capabilă să preia sporuri naturale de putere pentru o perioadă mare de timp) ; în astfel de cazuri s-a luat în consideraţie şi posibilitatea realizării temporare a unei întrepătrunderi (suprapuneri) între sectoarele alimentate la 10 şi 6 kV.

Realizarea unei eţele suprapuse de 20 kV peste reţelele de distribuţie existente, pentru preluarea sporurilor de consum este (în general) dezavantajoasă ; dezavantajul economic al soluţiilor la 20 kV este cu atît mai mic cu cît ritmul de creştere prevăzut pentru consum este mai mare, distanţele faţă de noile surse sînt mai mari, reţeaua de medie tensiune existentă este într-o stare mai rea. În cazuri izolate, în special în oraşe mai mici, care includ încă zone cu specific rural şi unde au existat surse şi reţele de 20 kV, s-a optat pentru menţinerea şi extinderea acestei trepte, soluţiile fiind realizate combinat prin linii subterane şi linii aeriene, ceea ce a permis reducerea costurilor totale. După cum se ştie, în oraşele mici, existenţa tensiunii de 20 (15) kV se datorează faptului că această treaptă se utilizează în acelaşi timp şi pentru alimentarea zonelor rurale.

În aceste condiţii apare perspectiva ca pentru oraşele mari din R.S.R. să se generalizeze tensiunea de 10 kV, iar pentru oraşele mici tensiunea de 20 kV. Soluţia apare ca neraţională din punct de vedere tehnic, întrucît în special pentru oraşele mari problema spaţiilor este mai acută, astfel încît acolo ar fi mai necesară introducerea treptei de 20 kV.

În acelaşi timp, alegerea valorii treptei de medie tensiune este legată de posibilităţile de aprovizionare şi de preţurile cablurilor. Este deci utilă o scurtă analiză a situaţiei din acest domeniu.

În R.S.R., pe lîngă cablurile de 6 şi de 10 kV cu izolaţie de hîrtie şi manta de plumb, s-au asimilat în ultimii ani şi cabluri cu izolaţie din material plastic. Ultimele au o serie de calităţi tehnice superioare, fiind preferate din ce în ce mai mult faţă de cablurile cu izolaţie de hîrtie. Totuşi preţurile sînt în general mai mari şi, în plus, raportul lor între 10 şi 6 kV (pentru aceeaşi secţiune) este mai mare ; din acest motiv şi avantajul economic al soluţiilor la 10 kV, în cazul utilizării cablurilor cu izolaţie sintetică, este mai redus [10] , [11].

O situaţie similară se întîlneşte şi în alte ţări. Astfel în R. F. a Germaniei [4] se preferă încă utilizarea cablurilor de 10 kV cu izolaţie de hîrtie, din considerente de ordin economic (la 6 kV se utilizează din ce în ce mai mult cablurile cu izolaţie sintetică). Informaţiile obţinute din R.S.F.I. arată că preţurile stabilite pentru cablurile de 6 şi de 10 kV cu izolaţie sintetică sînt (situaţie asemănătoare din acest punct de vedere cu cea din R.S.R.) mai mari decît cele ale cablurilor cu izolaţie de hîrtie, fără însă să fie defavorizate tipurile de 10 kV.

Referitor la posibilităţile ulterioare de scădere a preţurilor, se apreciază că şansele cele mai mari le au cablurile cu izolaţie sintetică, pentru care tehnologia de fabricaţie este mai nouă. În acelaşi timp trebuie arătat că dificultăţile tehnologice, în cazul cablurilor cu izolaţie sintetică, cresc odată cu tensiunea nominală ; din acest motiv la tensiuni ridicate (în special la 20 kV), problema rentabilităţii este mai greu de rezolvat [4].

Pentru 20 kV cablurile nu se fabrică în R.S.R., necesarul intern fiind acoperit din import ; se achiziţionează în general tipul cu izolaţie de hîrtie şi conductoare din Al. Preţurile stabilite

pentru cablurile de 20 kV reprezintă în general peste 250% din prețul cablurilor de 10 kV cu izolație de hîrtie (la aceeași secțiune), situație care se regăsește și în U.R.S.S. [5]. După informațiile pe care le deținem, în alte țări procentul de mai sus variază în limite destul de largi, cu o tendință de apropiere între prețurile cablurilor de 20 și de 10 kV. Aceasta a ridicat problema oportunității extinderii sau chiar a generalizării treptei de 20 kV în rețelele de medie tensiune [5], [6]. Totuși examinarea soluțiilor de distribuție realizate (sau propuse) pentru orașele din străinătate arată că, în principiu, se utilizează încă o gamă destul de largă de tensiuni.

Din exemplele prezentate în figura 1 se observă că o soluție de distribuție la o tensiune mai joasă poate fi adusă la echivalență, din punctul de vedere al lungimii traseelor, cu o soluție de distribuție la o tensiune mai ridicată, cu condiția majorării numărului punctelor de injecție și a amplasării corespunzătoare a acestora.

Restricțiile urbanistice impun în astfel de cazuri utilizarea racordului în cablu la înaltă tensiune, realizarea stațiilor de tip interior (sau chiar subteran), simplificarea schemelor de conexiuni și reducerea gabaritelor aparatajului de comutație (la prețuri care să asigure economicitatea).

În această direcție în străinătate există o preocupare generală de ameliorare a soluțiilor, literatura de specialitate prezentînd o serie de realizări interesante [7], [8], [9].

Pentru perspectiva dezvoltării rețelelor urbane în R.S.R., aprofundarea posibilităților din acest domeniu este cel puțin la fel de importantă ca și problema ridicării valorii treptei de medie tensiune. Dacă se asigură condiții tehnico-materiale de amplasare a unor stații de injecție cu puteri relativ mici în centrul zonelor de consum, se pot realiza soluții de distribuție elastice, capabile să preia sporuri de putere cu eforturi inițiale reduse; concomitent se realizează o economie de cablu de medie tensiune, ceea ce permite utilizarea mai rațională a acestui material.

Se pune astfel problema stabilirii oportunității asimilării sau importului unor produse selectate dintr-o gamă largă de materiale, aparate și utilaje utilizate la dezvoltarea și modernizarea rețelelor de distribuție urbană. Fără a intra în detalii asupra noutăților din acest domeniu, prezentate frecvent în literatura de specialitate, se poate indica pentru exemplificare problema asimilării echipamentului pentru stații interioare de înaltă tensiune/ /medie tensiune.

În astfel de situații este important să se cunoască ce cantități vor fi necesare din diversele tipuri de materiale, aparate etc., prețurile pentru care asimilarea sau achiziționarea lor devine pe ansamblu eficientă economic. Problema este mai dificilă dacă se ia în considerație faptul că posibilitățile de asimilare (achiziționare) sînt (vor fi) limitate cantitativ și se urmărește optimizarea repartiției pe obiective.

**2. Planificarea pentru un grup de obiective în cazul variantelor care necesită mai multe tipuri de materiale, disponibile în cantități limitate.**

Se consideră cazul unui grup de $N$ obiective, care la rîndul lor pot fi realizate în $M$ variante. Fiecare variantă necesită anumite cantități (cunoscute) din materiale de diverse tipuri. În total se pot utiliza $P$ tipuri de materiale, dar pentru $P$-1 tipuri cantitățile totale disponibile sînt limitate; pentru un singur tip nu există această restricție (din acest motiv nici nu interesează cantitățile respective). Se cunosc și valorile funcției economice pentru toate variantele (tabelul 1). Se cere să se aleagă cîte o variantă pentru fiecare obiectiv, astfel încît:

*Tabelul 1*

| Obiectivul | Varianta | Funcția economică | Cantități necesare din materiale de tipul 2 | … | P |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | $E_{1,1}$ | $C_{1,1,2}$ | … | $C_{1,1,P}$ |
| | 2 | $E_{1,2}$ | $C_{1,2,2}$ | … | $C_{1,2,P}$ |
| | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| | $M$ | $E_{1,M}$ | $C_{1,M,2}$ | … | $C_{1,M,P}$ |
| 2 | 1 | $E_{2,1}$ | $C_{2,1,2}$ | … | $C_{2,1,P}$ |
| | 2 | $E_{2,2}$ | $C_{2,2,2}$ | … | $C_{2,2,P}$ |
| | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| | $M$ | $E_{2,M}$ | $C_{2,M,2}$ | … | $C_{2,M,P}$ |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| $N$ | 1 | $E_{N,1}$ | $C_{N,1,2}$ | … | $C_{N,1,P}$ |
| | 2 | $E_{N,2}$ | $C_{N,2,2}$ | … | $C_{N,2,P}$ |
| | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| | $M$ | $E_{N,M}$ | $C_{N,M,2}$ | … | $C_{N,M,P}$ |
| Cantități totale disponibile: | | | $C_{T,2}$ | … | $C_{T,P}$ |

$$\sum_{i=1}^{N} E_{i,j} = min\,;\; j = 1 \text{ sau } 2 \text{ sau} \ldots \text{ sau } M \quad (1)$$

fără să fie depășite cantitățile totale de materiale disponibile:

$$\left.\begin{aligned} &\sum_{i=1}^{N} C_{i,j,k} \leqslant C_{T,k}\,;\; j = 1 \text{ sau } 2 \text{ sau} \ldots \text{ sau } M \\ &k = 2, 3, \ldots, P \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

De observat că nu este obligatoriu să se indice pentru fiecare obiectiv datele corespunzătoare tuturor celor $M$ variante; o parte dintre variante pot lipsi din tabel. De asemenea, pentru o variantă oarecare pot fi utilizate numai o parte din totalul celor $P$ tipuri de materiale; cantităţile corespunzătoare materialelor neutilizate pentru variantele respective vor fi marcate cu 0 în tabelul 1.

Algoritmul pentru rezolvarea problemelor de acest tip are la bază metoda „ramificare şi frontiere” [3] şi este de fapt o generalizare a procedeului prezentat în [12] pentru cazul variantelor care necesită mai multe tipuri de materiale.

Se va urmări maximizarea expresiei:

$$\sum_{i=1}^{N} A_{i,j} = max; \quad j = 1 \text{ sau } 2 \text{ sau} \ldots \text{ sau } M \tag{3}$$

în care

$$A_{i,j} = E_{i,1} - E_{i,j}; \; i=1,2,\ldots,N; \; j=1,2,\ldots,M \tag{4}$$

(rezultă pentru $j = 1$, $A_{i,j} = 0$)

În cazul unui obiectiv $i$, pentru care varianta *1* nu a fost examinată (sau nu este posibilă), deci nu sînt indicate datele corespunzătoare în tabelul 1, se va trece totuşi pentru $E_{i,1}$ o valoare fictivă, faţă de care se vor calcula mărimile $A_{i,j}$; se va reţine însă restricţia că, pentru acest obiectiv, nu se admite alegerea variantei *1* (este obligatorie alegerea unei variante din cele examinate).

Ordonarea în vederea ramificării mulţimii soluţiilor se va efectua într-o listă (tabelul 2) după valorile descrescătoare ale lui $\delta_{i,j}$:

$$\delta_{i,j} = \frac{A_{i,j}}{\sum_{k=2}^{P} C'_{i,j,k}} \tag{5}$$

în care $C'_{i,j,k}$ reprezintă valorile raportate ale mărimilor corespunzătoare din tabelul 2, la

*Tabelul 2*

| $i,j$ | $A_{i,j}$ | $C'_{i,j,2}$ | $C'_{i,j,3}$ | ... | $C'_{i,j,P}$ | $\delta_{i,j}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . |

cantitatea totală disponibilă pentru un tip de material ales arbitrar, de exemplu $P$ (cu condiţia $C_{T,P} \neq 0$):

$$C'_{i,j,k} = C_{i,j,k} \frac{C_{T,P}}{C_{T,k}} \tag{6}$$

Dacă în cadrul procesului de ramificare [12], la calculul limitelor partiţiilor se iau în consideraţie valorile raportate ale cantităţilor de materiale (6), se va urmări respectarea restricţiilor:

$$\left.\begin{aligned} &\sum_{i=1}^{N} C'_{i,j,k} \leqslant C_{T,P}; \; j = 1 \text{ sau } 2 \text{ sau} \ldots \text{sau } M \\ &k = 2, 3, \ldots, P \end{aligned}\right\} \tag{7}$$

În vederea ordonării variantelor, valorile $C'_{i,j,k}$ pot fi calculate şi în procente; în acest caz în (6) se înlocuieşte valoarea $C_{T,P}$ cu 100, iar (7) devine:

$$\left.\begin{aligned} &\sum_{i=1}^{N} C'_{i,j,k} \leqslant 100; \; j = 1 \text{ sau } 2 \text{ sau} \ldots \text{sau } M \\ &k = 2,3,\ldots P \end{aligned}\right\} \tag{7'}$$

De observat că, după efectuarea ordonării variantelor conform celor arătate mai sus, în calculul limitelor pot fi luate în consideraţie şi cantităţile reale de materiale necesare, urmărindu-se în acest caz respectarea restricţiilor (2).

## 3. Planificarea pentru un grup de obiective atunci cînd este dată prognoza cantităţilor disponibile pe tipuri de materiale

Se presupune că pentru fiecare dintre cele $P-1$ tipuri de materiale din problema precedentă este dată o prognoză pentru următoarele $S$ etape referitoare la cantităţile totale disponibile (fig. 2); de asemenea se cunosc pentru etapele respective cantităţile de materiale (pe tipuri) necesare în variantele examinate pentru cele $N$ obiective, împreună cu funcţiile economice respective. Se cere şi în acest caz să se aleagă cîte o variantă pentru fiecare obiectiv,

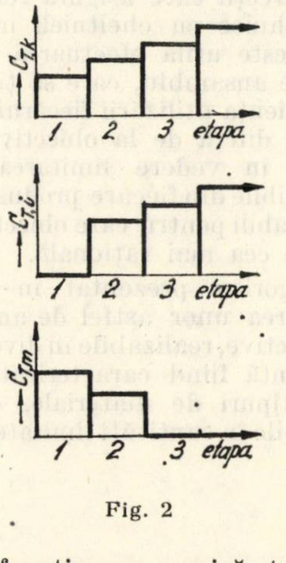



Fig. 2

astfel încît funcţia economică totală să fie minimă, cu respectarea restricţiilor privind cantităţile de materiale disponibile.

Se raportează toate valorile $C'_{i,j,k,l}$ indiferent de etapa ($l$) la care se referă, la cantitatea totală disponibilă într-o etapă, pentru un tip de material ales arbitrar, de exemplu $C_{T,P,1}$ (cantitatea totală de material de tip $P$ disponibil în etapa *1*).

Relaţia (5) devine :

$$\delta_{i,j} = \frac{A_{i,j}}{\sum_{l=1}^{S} \sum_{k=2}^{P} C'_{i,j,k,l}} \tag{8}$$

iar ordonarea variantelor se face sub forma din tabelul 3.

*Tabelul 3*

| | | Etapa | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | | | ... | S | | | |
| $i,j$ | $A_{i,j}$ | $C_{i,j,2,1}$ | ... | $C_{i,j,P,1}$ | ... | $C_{i,j,2,S}$ | ... | $C_{i,j,P,S}$ | $\delta_{i,j}$ |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |

În tabelul 3 s-au trecut valorile reale ale cantităţilor $C_{i,j,k,l}$; la calculul limitelor în cadrul ramificărilor pentru determinarea soluţiei optime [12] se vor avea în vedere restricţiile exprimate în cantităţi reale (neraportate).

## Concluzii

Dezvoltarea şi modernizarea reţelelor electrice urbane implică îmbunătăţirea continuă a caracteristicilor materialelor şi echipamentelor, a soluţiilor utilizate, asimilarea unor produse noi la parametri superiori, în acest domeniu eforturile trebuind îndreptate cu prioritate spre acele direcţii care asigură rezolvarea problemelor tehnice cu cheltuieli minime. Pentru aceasta este utilă efectuarea unor analize economice de ansamblu, care să ţină seama de faptul că eficienţa utilizării fiecărui produs, nou sau existent, diferă de la obiectiv la obiectiv. Dacă se are în vedere limitarea cantităţilor totale disponibile din fiecare produs, este necesar să se poată stabili pentru care obiective utilizarea acestora este cea mai raţională.

Primul algoritm prezentat în lucrare permite efectuarea unor astfel de analize pentru grupe de obiective, realizabile în diverse variante, fiecare variantă fiind caracterizată prin utilizarea unor tipuri de materiale, echipamente, etc., disponibile în cantităţi limitate.

Al doilea algoritm permite efectuarea analizei şi pentru cazul în care este dată o ipoteză (prognoză) a evoluţiei posibilităţilor viitoare de aprovizionare cu diversele tipuri de materiale, echipamente etc. Dacă se repetă calculele în mai multe ipoteze, se poate stabili strategia optimă a dezvoltării reţelelor electrice pentru întregul grup de oraşe examinate, corelînd eficienţa proprie cu cea corespunzătoare succesiunii, cantităţilor şi ritmurilor de asimilare (achiziţionare) a noilor produse (materiale, echipamente etc.).

### Bibliografie


[1] V l a d, Al. şi M o r ţ u n, C. *Stabilirea prin metode ştiinţifice a planului de investiţii în energetică (I) şi (II).* În : Energetica, 17, nr. 9, 1969, p. 405–409 şi nr. 10, p. 453–458.

[2] P e r r o u x, F. *Tehnicile cantitative ale planificării.* Editura Academiei R.S.R., Bucureşti, 1969.

[3] M ă c r i ş, A. *O metodă de cercetare operaţională cu multiple aplicaţii : ramificare şi frontiere (I) şi (II).* În : Energetica, 18, nr. 8, 1970, p. 369–374 şi nr. 11, 1970, p. 498–501.

[4] W a n s e r, G. *Expériences faites en Allemagne avec les câbles à isolation synthétique.* În Bull. ASE 59, 1969, nr. 14, p. 652–659.

[5] L o r d k i p a n i d z e, V.D. *Vibor napriajenii v gorodskih setiah s ucetom dinamiki rosta nagruzok.* În : Elektriceskie stanţii, 42, nr. 3, 1971, p. 18–23.

[6] P o g g i, J. *Distribuzione dell'energia elettrica.* În : L'Elettrotecnica, 55, nr. 11, nov. 1968, p. 791–795.

[7] R i m p p, F. *Applications of EHV Metalclad Switchgear with $SF_6$ Insulation.* În : Energy International, 8, nr. 5, 1971, p. 18–23.

[8] P r i n z, H. *50 jours en qualité de professeur étranger au Japon.* În : Bull. ASE, 59, nr. 19, 1968, p. 899–913.

[9] * * * *Sottostazione sotterranea urbana per. 275 kV e della potenza di 860 MVA.* În : L'Elettrotecnica, 56, nr. 9, 1969, p. 574–575.

[10] T a r n a v s c h i, Ş. şi T r a n d a f i r, M. *Analiza perspectivelor de dezvoltare a reţelelor de înaltă şi medie tensiune din oraşul Ploieşti.* În Energetica, 19, nr. 3, 1971, p. 122–128.

[11] T a r n a v s c h i, Ş. şi P o p e s c u, C. *Analiza concluziilor rezultate din studiile elaborate de I.S.P.E. privind dezvoltarea şi sistematizarea reţelelor urbane de IT şi MT dintr-o serie de oraşe ale R.S.R.* Lucrare I.S.P.E. prezentată la Consfătuirea pe ţară C.I.T.D.E.E., noiembrie 1970.

[12] T a r n a v s c h i, Ş. *Aplicaţii ale metodei „ramificare şi frontiere" în planificarea reţelelor urbane.* În : Energetica, nr. 10, 1971, p. 518–522.


**(Articol intrat în redacţie la 7 iunie 1971)**

# Selectarea schemelor de excitație pentru hidrogeneratoare pe baza criteriilor tehnico-economice prin metoda „ELECTRE"

Ing. V. Crăciunescu
și ing. L. Lădar*)

**1. Considerații privind sistemele de excitație [1]**

Sistemele de excitație au menirea de a asigura funcționarea generatoarelor pentru toate regimurile prevăzute, intervenind prompt și în sens corector la schimbarea condițiilor din sistemul energetic.

În accepțiunea generală, sistemul de excitație cuprinde în structura lui atît sursa de energie, care permite magnetizarea mașinii sincrone, cît și elementele de control și de reglare automată sau manuală. Eficacitatea funcțională a sistemului de excitație se poate realiza numai pe baza unei corelări raționale a elementelor componente din sistem și a perfecționării în ansamblu a sistemului.

Principalele direcții ale perfecționării sistemelor de excitație pot fi sintetizate astfel :

— creșterea siguranței în funcționare, respectiv asigurarea unui înalt grad de fiabilitate și de mentanabilitate ;

— cumularea unor funcții complete, care să poată asigura excitația mașinii sincrone la diferite regimuri de lucru : variația tensiunii după un program dat în limite largi, îmbunătățirea stabilității statice și dinamice ;

— crearea de surse de excitație de puteri ridicate, cu siguranță mărită în exploatare, pentru mașinile sincrone de putere mare ;

— creșterea economicității sistemelor de excitație prin reducerea cheltuielilor de fabricație și de exploatare.

Perfecționarea continuă a sistemelor de excitație a dus la elaborarea unui număr mare de variante care urmăresc satisfacerea cît mai multor obiective impuse de cerințele actuale ale progresului tehnic.

Din ansamblul general al sistemelor de excitație, în cadrul lucrării se vor urmări numai schemele de excitație care prin sursele de energie prevăzute asigură magnetizarea mașinilor sincrone.

**2. Schemele principale de excitație. Selecționarea schemelor supuse analizei [1], [2]**

Pentru a putea face o analiză globală a variantelor principale, se impune gruparea lor pe baza următoarelor criterii :

— autonomia sau neautonomia sursei de energie pentru excitație, inclusiv dependența sau independența schemei de excitație de regimul de funcționare al hidrogeneratorului ;

— caracterul mobil (în rotație) sau imobil (static) al elementelor componente din schemă ;

— natura și caracteristicile sursei de energie ce alimentează hidrogeneratorul.

Schemele autonome dependente dispun în schema de excitație de surse proprii de energie, de elemente transformatoare, amplificatoare etc.

Dependența acestor scheme de excitație față de mașina sincronă se realizează sub forma unui cuplaj mecanic (cuplarea excitatoare de curent continuu, a generatorului sincron auxiliar etc.) sau sub forma unui cuplaj electromecanic, de exemplu în cazul în care motorul de acționare a grupului de excitație este alimentat direct de la bornele generatorului sincron sau de la un generator sincron auxiliar, montat pe același arbore cu mașina sincronă principală.

Schemele autonome independente folosesc surse separate de alimentare și elimină conexiunile de orice natură ale acestei surse cu mașina sincronă ce se excită.

În cazul schemelor neautonome dependente, cu cuplaj galvanic sau magnetic, generatorul sincron constituie sursa de energie necesară excitației. Schema de excitație îndeplinește doar funcția de transformare și de adaptare la condițiile în care urmează să aibă loc alimentarea înfășurării de excitație.

Schemele neautonome independente se caracterizează prin faptul că energia se obține de la un element din afara lor și nu au conexiuni electrice, electromagnetice sau mecanice cu mașina sincronă și cu barele pe care debitează aceasta.

În funcție de caracterul mobil sau imobil al elementelor componente, se disting :

— scheme de excitație cu elemente mobile ; de exemplu, excitatoare, grup separat de excitație etc ;

— scheme de excitație cu elemente statice ; de exemplu, transformatoare, amplificatoare statice etc. ;

— scheme de excitație combinate ; de exemplu, generatoare auxiliare.

În ceea ce privește natura surselor ce asigură și transformă energia necesară excitației și care se racordează direct la înfășurarea de excitație a generatorului sincron, se poate face o clasificare generală cuprinzînd următoarele categorii principale :

— scheme de excitație cu mașini electrice ;
— scheme de excitație cu redresor ;
— scheme de excitație cu mașini și redresor.

În cadrul fiecărei categorii există o varietate mare de scheme de excitație, conform figurii 1.

Ținînd seama de experiența întreprinderilor constructoare și de comportarea în exploatare a diferitelor scheme, în practică s-au extins mai mult variantele prezentate în figurile 2,3 și 4.

*) Victor Crăciunescu este conferențiar la Catedra Economia industriei, Facultatea de studii economice a Universității din Timișoara ; Lucian Lădar este asistent la aceeași catedră.

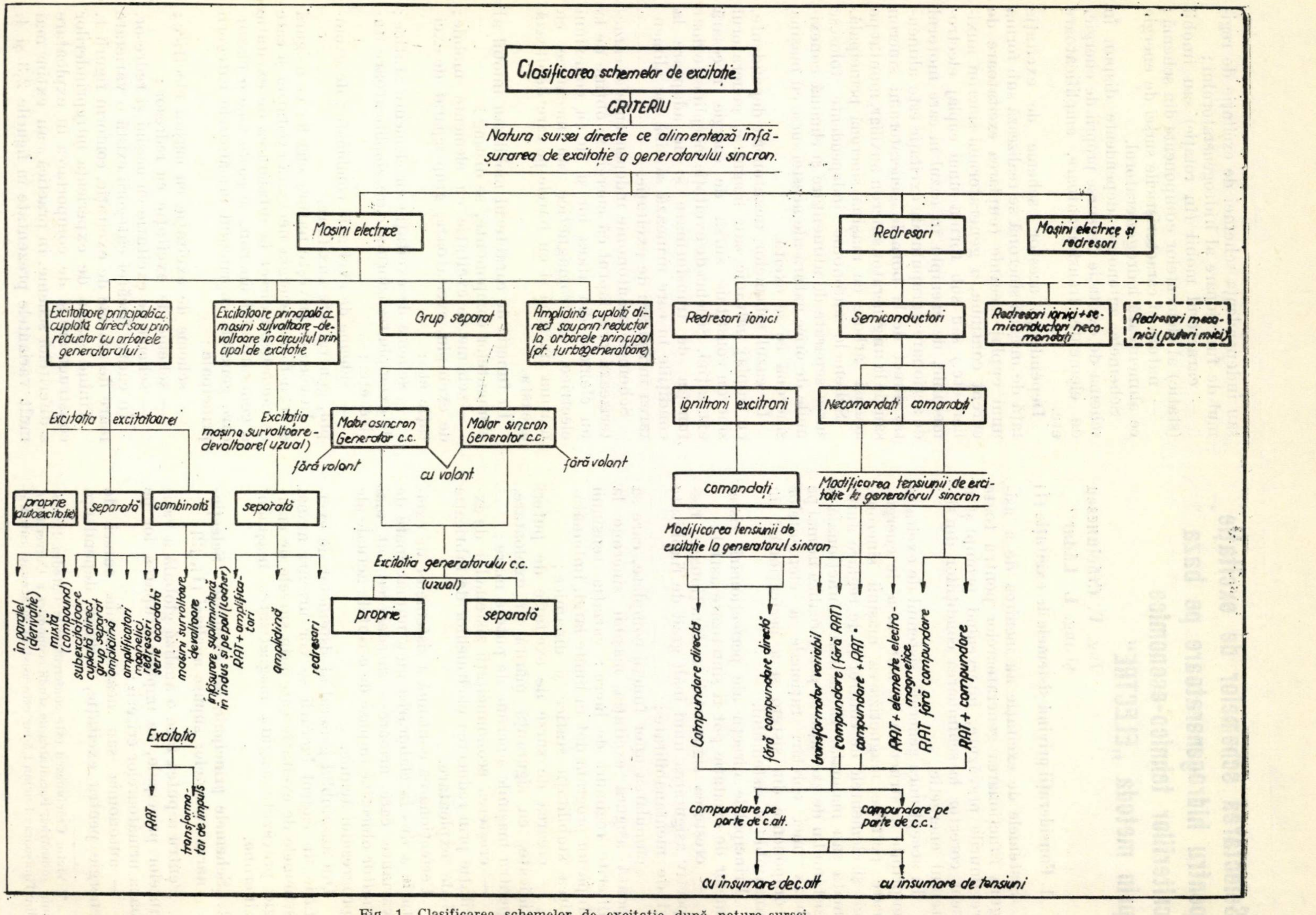



Fig. 1. Clasificarea schemelor de excitație după natura sursei.

În cadrul lucrării, la selecționarea unei scheme din cele prezentate, se va aplica metoda „ELECTRE".

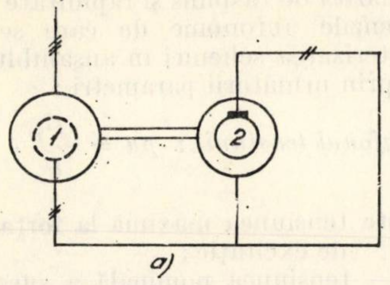



Fig. 2 *a*. Schema de excitație cu excitatoare cuplate direct cu hidrogeneratorul autoexcitației :
*1* – generator sincron ; *2* – excitatoare curent continuu.

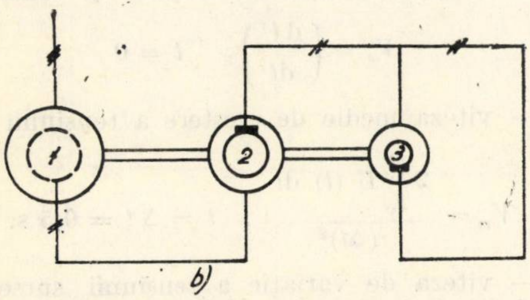



Fig. 2 *b*. Schema de excitație cu excitatoare cuplate direct cu hidrogeneratorul cu excitația separată :
*1* – generator sincron ; *2* – excitatoare curent continuu ; *3* – subexcitatoare curent continuu.

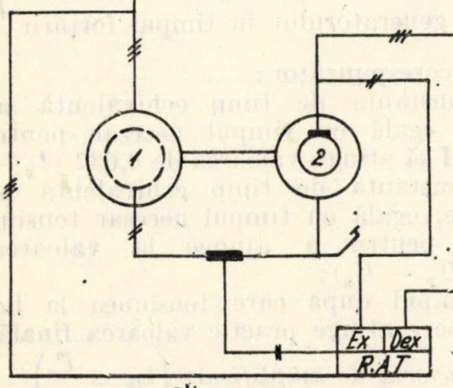



Fig. 2 *c*. Schema de excitație cu excitatoare cuplate direct cu hidrogeneratorul cu excitație combinată (amplificatoare) : *1*—generator sincron ; *2*—excitatoare curent continuu ; *RAT*— regulator automat de tensiune.

**Pentru a putea decide în privința alegerii schemei este necesar în primul rînd să se precizeze criteriile de comparație.**

## 3. Stabilirea criteriilor generale pentru selecționarea schemelor de excitație [1], [3], [5], [4] și [5].

**Cercetările teoretice și de laborator, precum și observațiile din exploatare au permis formularea cerințelor principale pentru sistemele de excitație.**

Criteriile generale care se au în vedere în aprecierea sistemelor de excitație sînt :

— eficacitatea funcțională a sistemului de excitație ;

— siguranța în exploatare ;

— economicitatea schemei de excitație.

Eficacitatea funcțională a sistemului de excitație se poate caracteriza ca performanțe tehnice prin limitele de variație admisibilă a puterii de excitație de la regimul normal la un regim de suprasarcină de forțare, care apare în caz de avarii. Limitele de putere depind de plafonul tensiunii de excitație, respectiv de tensiunea maximă a sursei de excitație, de gradul admisibil de suprasarcină al elementelor din schema de excitație și de durata forțării.

Caracteristicile statice ale sistemului de excitație sînt determinate de gradul de amplificare a puterii pentru schema de excitație și pentru schema de reglare (raportul dintre

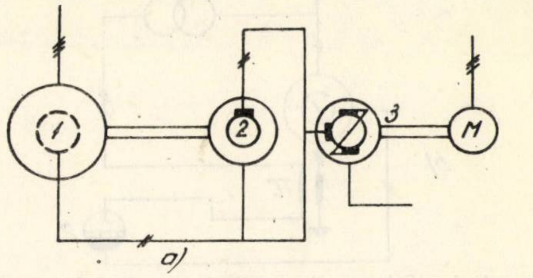



Fig. 3 *a*. Schema de excitație cu mașini speciale :
*1* – generator sincron ; *2* – excitatoare curent continuu ; *3* – amplidină ; *M* – motor sincron.

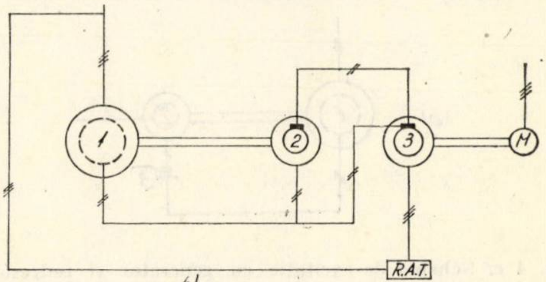



Fig. 3 *b*. Schema de excitație cu mașini survoltoare :
*1* – generator sincron ; *2*—excitatoare curent continuu ; *3*—mașini survoltoare ; *M* – motor sincron ; *RAT* – regulator automat de tensiune.

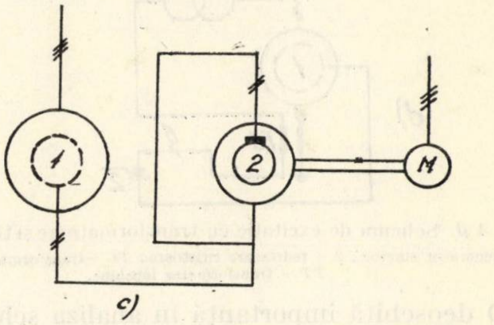



Fig. 3 *c*. Schema de excitație cu grup separat :
*1* – generator sincron ; *2* – excitatoare curent continuu ; *M* – motor sincron.

puterea ieşită şi puterea introdusă), precum şi de precizia reglării şi a menţinerii excitaţiei, care depinde de structura, caracteristicile elementului regulator şi, în mare măsură, de coeficientul de amplificare a schemei de reglarea

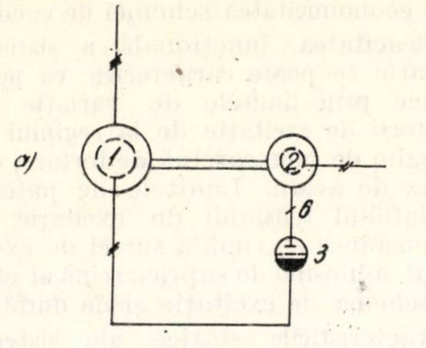



Fig. 4 *a*. Schema de excitaţie cu transformator (generator) auxiliar şi redresoare ionice :
*1* – generator sincron ; *2* – generator auxiliar ; *3* – redresor ionic.

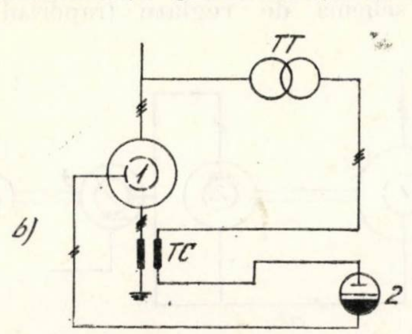



Fig. 4 b. Schema de excitaţie cu transformatoare şi redresoare ionice:
*1* – generator sincron ; *2* – redresor ionic ; *TT* – transformator tensiune ; *TC* – transformator curent.

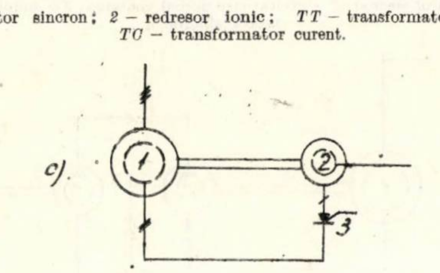



Fig. 4 *c*. Schema de excitaţie cu generator şi redresor cu semiconductoare :
*1* – generator sincron ; *2* – generator auxiliar ; *3* – redresoare tiristoare.

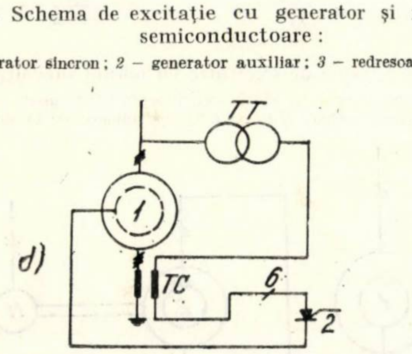



Fig. 4 *d*. Schema de excitaţie cu transformatoare şi tiristoare :
*1* – generator sincron ; *2* – redresoare tiristoare ; *TC* – transformator curent ; *TT* – transformator tensiune.

O deosebită importanţă în analiza schemelor de excitaţie trebuie să se acorde caracteristicilor dinamice, care au un rol de seamă în menţinerea stabilităţii, depinzînd de structura sistemului şi de calităţile elementului regulator. În acest scop sistemul de excitaţie trebuie să asigure o viteză mărită de răspuns şi rapiditate de reacţie la comenzile autonome de care se dispune.

Caracterizarea schemei în ansamblu se poate urmări prin următorii parametri :

*a*) *Plafonul tensiunii* : $pu = \dfrac{U_p}{U_n}$,

în care

$U_p$ este tensiunea maximă la forţarea sursei de excitaţie ;

$U_n$ — tensiunea nominală a sursei.

*b*) *Vitezele de creştere a tensiunii* :

— viteza iniţială de creştere a tensiunii

$$V_e = \left(\frac{\mathrm{d}U}{\mathrm{d}t}\right); \quad t = 0$$

— viteza medie de creştere a tensiunii

$$V_m = \frac{2\int_0^t U(t)\,\mathrm{d}t}{(\Delta t)^2}; \quad t = \Delta t = 0{,}5 \text{ s.}$$

— viteza de variaţie a tensiunii sursei de excitaţie la întreruperea forţării sau la dezexcitaţie.

*c*) *Constantele de timp ale schemei*, care influenţează :

— valoarea minimă a curentului de excitaţie a generatorului în timpul forţării $\frac{I_{min}}{I}$ şi timpul corespunzător ;

— constanta de timp echivalentă pentru curent, egală cu timpul necesar pentru ca curentul să atingă valoarea de 0,632 $(I_p - I_0)$ ;

— constanta de timp echivalentă pentru tensiune, egală cu timpul necesar tensiunii la forţare pentru a ajunge la valoarea de 0,632 $(U_p - U_n)$ ;

— timpul după care tensiunea la bornele excitatoare atinge practic valoarea finală.

*d*) *Factorul de amplificare* $\left(ka = \dfrac{P_e}{P_i}\right)$

La încercările practice privind comportarea dinamică a unui sistem de excitaţie se analizează următoarele aspecte (care depind de indicatorii arătaţi) :

— rapiditatea schimbării tensiunii de consemn în cursul funcţionării în gol a sursei de excitaţie ;

— comportarea sistemului la punerea în scurtcircuit brusc a maşinii sincrone ;

— viteza de reacţie a sistemului de excitaţie la întreruperea unei sarcini reactive sau capacitive (reducerea tensiunii generatorului la valoarea de consemn în mai puţin de 1 s).

Rapiditatea de reacţie a sistemului de excitaţie mai trebuie analizată distinct după crite-

riul reglării rapide a tensiunii, respectiv după cel al stabilității.

În cazul primului criteriu, performanța caracteristică dinamică a sistemului constă în posibilitatea de a menține și de a restabili rapid tensiunea, indiferent de variația sarcinii generatorului.

Dacă se are în vedere stabilitatea sistemului, adică menținerea sincronismului între un generator și alte grupuri de mașini, atunci analiza caracteristicilor dinamice definitorii trebuie să se facă în anumite condiții-limită. Deoarece menținerea stabilității în orice situație de avarie nu este practic posibilă, este necesar să se urmărească în sistemul energetic cazurile care pot apărea cu cea mai mare probabilitate în timpul exploatării; pentru aceste cazuri trebuie să se stabilească cerințele ce se impun sistemului de excitație (tensiune de plafon, viteză de răspuns, constante de timp etc.).

O mare importanță în analiza schemelor de excitație trebuie să se acorde siguranței în funcționare a acestora. Ca atare este necesar să se studieze structura schemei de excitație ca simplitate și eficacitate. Creșterea numărului de elemente și complicarea schemei nu conduc în general la creșterea scontată a siguranței în exploatare. În acest sens se anlizează structura schemei de dependența sau independența ei față de regimul de funcționare a mașinii sincrone. O soluție avantajoasă ar fi și aceea în care se asigură independența schemei de excitație de regimul de lucru al generatorului, cu o sursă autonomă de excitație.

Siguranța în funcționare este influențată de caracterul mobil sau static al schemei de excitație. Schemele de excitație cu elemente statice prezintă o siguranță sporită, deoarece posibilitatea apariției avariilor ca urmare a uzării în timpul funcționării este mai mică decît la schemele de excitație cu elemente mobile și, pe măsura perfecționării schemelor neautonome și a elementelor componente (tiristoare), acestea vor cîștiga prioritatea. În cercetarea schemelor de excitație aspectele economice prezintă o importanță deosebită. Economicitatea schemei se poate caracteriza prin următorii factori mai importanți:

— puterea totală instalată a mașinilor sau a aparatelor prin intermediul cărora se asigură excitarea mașinii sincrone;
— costul elementelor componente;
— randamentul global al schemei de excitație;
— dimensiunile de gabarit, respectiv spațiul necesar instalării, posibilitățile de realizare în țară, colaborările, cooperările sau importul;
— cheltuielile necesare exploatării și deservirii ei.

În vederea găsirii unei soluții cît mai corespunzătoare, trebuie să se procedeze la o analiză temeinică a sistemelor de excitație celor mai adecvate. Este necesar ca fiecare soluție avută în vedere să se raporteze la particularitățile tehnice și economice ale țării.

În concluzie la analiza schemelor de excitație se vor lua în considerație următoarele criterii:
— autonomia sistemului;
— plafonul tensiunii;
— viteza de creștere a tensiunii;
— constanta de timp;
— factorul de amplificare;
— integrarea în fabricație;
— aspectele de colaborare, cooperare, import;
— siguranța în exploatare;
— economicitatea schemei.

## 4. Metoda „ELECTRE“ aplicată la alegerea schemelor de excitație pentru hidrogeneratoare [6], [7], [8]

Metoda „ELECTRE" (elimination et choix, traduisant la réalité) a fost elaborată în cadrul SEMA (Societé d'Economie et de Mathématique Appliquées), pentru rezolvarea problemelor de alegere a unui produs nou dintr-o gamă de produse care pot fi fabricate.

Metoda permite alegerea unui element sau a unui obiect din cadrul unei mulțimi de obiecte, ținînd seama de mai multe puncte de vedere sau de mai multe criterii. Ea permite alegerea celei mai bune alternative, ținînd seama atît de aspectele favorabile, cît și de cele nefavorabile ale diferitelor posibilități.

Fiind date $M$ obiecte (produse) și $F$ factori (criterii), se pornește de la ideea că compararea a două obiecte $i$ și $j$ din mulțimea obiectelor $M$, ținînd seama de toate criteriile, implică posibilitatea de a le compara separat după fiecare criteriu în parte. Aceasta presupune ca pentru fiecare criteriu să existe o scară de apreciere și fiecărui obiect din mulțimea $M$ să-i corespundă un anumit nivel din scara de apreciere.

Criteriile pot fi diferențiate între ele în funcție de importanța lor, atribuind fiecăruia cîte un coeficient de importanță $\pi_f$ ($f = 1,2...$ $... - F$).

Este posibil să se asocieze fiecărei trepte din scara de apreciere a influenței criteriilor cîte o notă.

Se calculează pentru fiecare pereche de elemente ale mulțimii $M$ cîte doi indicatori, numiți indicatori de concordanță și de discordanță cu ajutorul cărora se stabilește ordinea de prioritate a elementelor mulțimii $M$.

Indicatorii de concordanță se determină cu relația:

$$Cij = \frac{\sum_{c \in Nc} \pi c}{\sum_{f=1}^{F} \pi f}$$

**Hidrogeneratoare de puteri**

*a* — situaţia actuală

| | Denumirea schemei | Criteriile de apreciere | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Caracteristicile funcţionale | | | | | Integrarea în fabricaţie | Aspecte de import, colaborare şi cooperare | Siguranţa în exploatare | Economicitatea schemei |
| | | Autonomia sistemului | Plafon tensiune | Viteza de creştere a tensiunii | Constanta de timp | Factorul de amplificare | | | | |
| 1 | Excitatoare cuplate direct autoexcitaţiei | *fb* | *s/n* | *n/s* | *n/s* | *s* | *fb* | *fb* | *n* | *n/b* |
| 2 | Excitatoare cuplate direct cu excitaţie separată | *fb* | *n* | *n/s* | *n/s* | *s* | *fb* | *fb* | *n/b* | *n* |
| 3 | Excitatoare cuplate direct cu excitaţia combinată | *b* | *n* | *n/b* | *n/b* | *n/b* | *b/n* | *b* | *n/b* | *n* |
| 4 | Schema de excitaţie cu maşini speciale şi maşini survoltoare | *b/n* | *b* | *b* | *b* | *n/b* | *n/s* | *n/s* | *n* | *s/n* |
| 5 | Schema de excitaţie cu grup separat | *b/n* | *n/s* | *n* | *n* | *n/s* | *fb* | *fb* | *n* | *b* |
| 6 | Schemă de excitaţie cu generator auxiliar şi redresoare ionice | *fb/b* | *fb/b* | *b/fb* | *fb* | *fb/b* | *s* | *s* | *b/n* | *s* |
| 7 | Schemă de excitaţie cu transformatoare şi redresoare ionice | *s/n* | *b* | *fb* | *fb* | *fb/b* | *s* | *s* | *n* | *n* |
| 8 | Schema de excitaţie cu generator auxiliar şi redresoare cu semiconductoare | *fb* | *b/fb* | *fb* | *fb* | *fb* | *b* | *b/n* | *b/fb* | *n* |
| 9 | Schemă de excitaţie cu transformatoare şi tiristoare | *s/n* | *b* | *fb* | *fb* | *fb* | *b/n* | *n/s* | *b/fb* | *b* |
| Coeficienţii de importanţă | | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 | 4 | 2 |

în care

$\sum_{C \in Nc} \pi c$ este suma coeficienţilor de importanţă a factorilor concordanţi, adică a factorilor în care aprecierea lui $i$ este superioară sau egală lui $j$;

$\sum_{f=1}^{F} \pi f$ — suma coeficienţilor de importanţă a tuturor factorilor.

Indicatorii de discordanţă se determină cu relaţia:

$$dij = \frac{max \ \Delta d}{h_m}$$

în care

$\Delta d$ este intervalul discordant pentru un factor în care aprecierea lui $j$ este superioară lui $i$, adică diferenţa dintre nota lui $j$ şi nota lui $i$; $\Delta d$ = notă $(j)$ — notă $(i)$;

$h_m$ — diferenţa maximă existentă între nota maximă şi nota minimă de pe scările de apreciere.

Metoda „ELECTRE" fundamentează decizia pe baza indicatorilor de concordanţă şi de discordanţă. Se consideră că o alternativă $i$ depăşeşte o altă alternativă $j$, dacă $C_{ij} \geqslant p$ şi $d_{ij} \leqslant q$, $p$ şi $q$ fiind nişte valori-prag alese de decident.

În aplicarea metodei „ELECTRE" s-au luat în calcul variantele prezentate în schemele din figurile 2,3 şi 4.

Ţinînd seama de condiţiile diferite de lucru, aplicarea metodei se poate face în următoarele variante de analiză:

— pentru hidrogeneratoare de puteri mari, cu turaţii mari;

— pentru hidrogeneratoare de puteri mari, cu turaţii mici;

— pentru hidrogeneratoare de puteri mici, cu turaţii mari;

— pentru hidrogeneratoare de puteri mici, cu turaţii mici.

mari, cu turații mari

Tabelul 1

*b* – situația de perspectivă

| | Denumirea schemei | Criteriile de apreciere | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Autonomia sistemului | Caracteristicile funcționale | | | | Integrarea în fabricație | Aspecte de import, colaborare și cooperare | Siguranța în exploatare | Economicitatea schemei |
| | | | Plafon tensiune | Viteza de creștere a tensiunii | Constanta de timp | Factorul de amplificare | | | | |
| 1 | Excitatoare cuplate direct autoexcitației | — | *s/n* | *n/s* | *n/s* | — | *fb* | *fb* | *n* | *n/b* |
| 2 | Excitatoare cuplate direct cu excitație separată | — | *n* | *n/s* | *n/s* | — | *fb* | *fb* | *n/b* | *n* |
| 3 | Excitatoare cuplate direct cu excitație combinată | — | *n* | *n/b* | *n/b* | — | *b/n* | *b* | *n/b* | *n* |
| 4 | Schemă de excitație cu mașini speciale și servomotoare | — | *b* | *b* | *b* | — | *n/s* | *n/s* | *n* | *s/n* |
| 5 | Schemă de excitație cu grup separat | — | *n/s* | *n* | *n* | — | *fb* | *fb* | *n* | *b* |
| 6 | Schemă de excitație cu generator auxiliar și redresoare ionice | — | *fb/b* | *b/fb* | *fb* | — | *s* | *s* | *b/n* | *s* |
| 7 | Schemă de excitație cu transformatoare și redresoare ionice | — | *b* | *fb* | *fb* | — | *s* | *s* | *n* | *n* |
| 8 | Schemă de excitație cu generator auxiliar și redresoare cu semiconductoare | — | *b/fb* | *fb* | *fb* | — | *b* | *b/n* | *b/fb* | *n* |
| 9 | Scheme de excitație cu transformatoare și tiristoare | — | *b/fb* | *fb* | *fb* | — | *b* | *b/n* | *fb/b* | *b* |
| Coeficienții de importanță | | — | 2 | 3 | 3 | — | 1 | 1 | 4 | 2 |

Pentru aprecierea variantelor luate în studiu, s-a ținut seama de situația actuală și de cea de perspectivă.

În studiu s-a folosit următoarea scară de apreciere :

| *S* | *n/s* | *n* | *n/b* | *b* | *b/fb* | *fb/b* | *fb* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

În cadrul metodei „ELECTRE" se pot utiliza mai multe scări de apreciere (note). În acest sens unele criterii se apreciază după o scară,iar altele, după alte scări.

Pentru fiecare criteriu necesar analizei s-a stabilit coeficientul de importanță. Datorită tendințelor progresului tehnic în perspectivă, unele criterii luate în calcul își pierd din importanță, în timp ce altele ciștigă în importanță ; de aceea coeficienții de importanță s-au stabilit atît pentru situația actuală, cît și pentru situația de perspectivă.

Pentru hidrogeneratoarele de puteri mari cu turații mari, aprecierile variantelor luate în studiu în situația actuală și de perspectivă sînt prezentate în tabelul 1. Reprezentarea grafică este redată în figura 5. Conform relațiilor analitice, se calculează indicatorii de concordanță, respectiv de discordanță în cele două situații. În situația actuală, pentru variantele *1* și *2* (excitatoare cuplate direct cu autoexcitație, excitatoare cuplate direct cu excitație separată), aprecierile sînt :

— Pentru criteriul autonomia sistemului, varianta *1* (*fb*), varianta *2* (*fb*), deci nu se constată o depășire, ci o egalitate în apreciere.

— Pentru criteriul plafon tensiune, varianta *1* (*s/n*), varianta *2* (*n*), se observă că varianta *2* depășește varianta *1*.

— Pentru criteriile : viteza de creștere a tensiunii, constantă de timp, factorii de amplificare, integrarea în fabricație, aspectele de import, colaborare, cooperare în aprecierea celor două variante, se observă egalitate.

— Pentru criteriul siguranței în exploatare varianta *1* (*n*), varianta *2* (*n*/*b*), se constantă că varianta *2* depășește varianta *1*.

— Ultimul criteriu, economicitatea schemei, varianta *1* (*n*/*b*), varianta *2* (*n*), se observă că varianta *1* depășește varianta *2*.

Acest lucru reiese și din prezentarea grafică a aprecierilor.

Coeficientul de concordanță, respectiv discordanță, pentru cele două variante este :

$$C_{12} = \frac{2+3+3+1+2+2+2}{2+2+3+3+1+2+2+4+2} = \frac{15}{21} = 0{,}71$$

$$d_{12} = \frac{1}{7} = 0{,}14$$

Pentru indicatorul de concordanță $C_{12}$, numărătorul reprezintă suma coeficienților de importanță a criteriilor pentru care varianta *1* depășește varianta *2*. Numitorul este suma tuturor coeficienților de importanță pentru toate criteriile. Pentru indicatorul de discordanță $d_{12}$, numărătorul reprezintă diferența maximă dintre note, de pe scara de aprecieri corespunzătoare criteriilor pentru care varianta *2* depășește varianta *1*. La numitor este diferența maximă dintre note de pe scara de apreciere (în cazul de față *7*). La fel s-au calculat indicatorii de concordanță, respectiv de discordanță, pentru variantele *1* și *3* ; ... ; *1* și *9* ; ... ; *9* și *1* ; ... ; *9* și *8*.

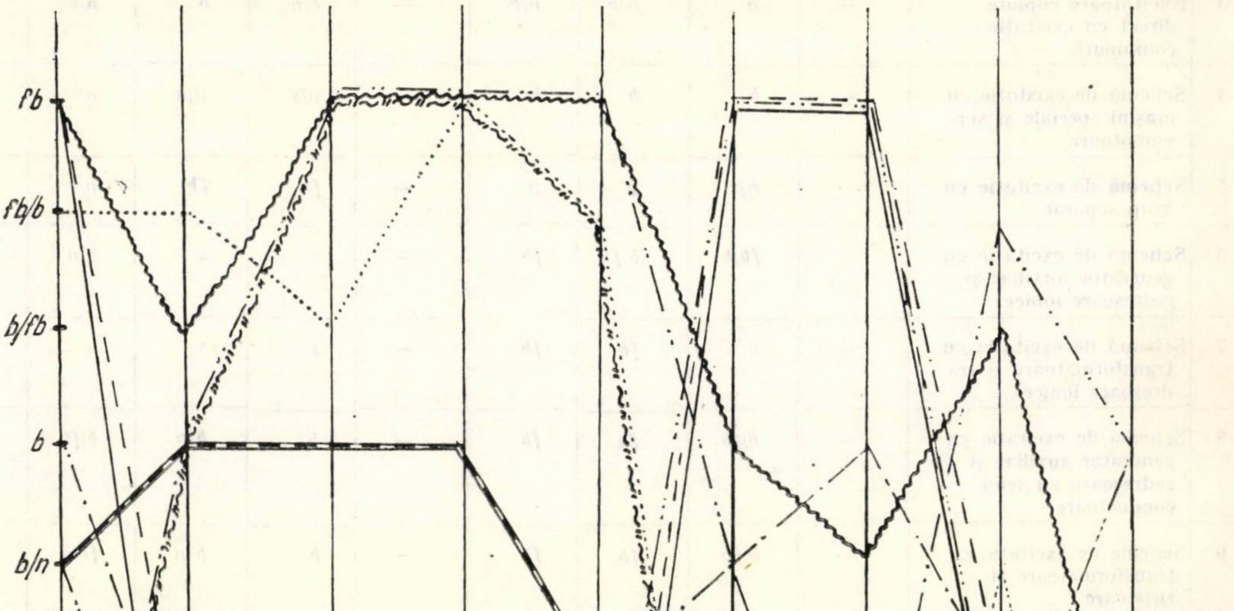



Fig. 5. Hidrogeneratoare de puteri mari cu turații mari (situația actuală) :
——— varianta *1* ; – – – varianta *2* ; ........ varianta *3* ; ▬▬ varianta *4* ; –··–··– varianta *5* ; ........ varianta *6* ; ~||~||~ varianta *7* ; ~~~~ varianta *8* ; —·—·—·— varianta *9*.

**Hidrogeneratoare de puteri mari cu turații mari** *Tabelul 2*

**a) indicatorii de concordanță**

Actual

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 71 | 38 | 57 | 57 | 38 | 57 | 38 | 28 |
| 2 | 90 | | 66 | 57 | 57 | 57 | 38 | 38 | 28 |
| 3 | 61 | 71 | | 61 | 71 | 47 | 57 | 19 | 28 |
| 4 | 61 | 42 | 42 | | 71 | 28 | 57 | 9 | 28 |
| 5 | 90 | 61 | 28 | 57 | | 28 | 47 | 28 | 28 |
| 6 | 61 | 61 | 71 | 71 | 71 | | 76 | 23 | 33 |
| 7 | 61 | 52 | 52 | 71 | 61 | 61 | | 38 | 47 |
| 8 | 71 | 80 | 90 | 100 | 71 | 100 | 100 | | 90 |
| 9 | 71 | 71 | 80 | 80 | 71 | 80 | 100 | 61 | |

Perspectiva

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 62 | 25 | 50 | 50 | 25 | 50 | 25 | 12 |
| 2 | 87 | | 25 | 50 | 50 | 50 | 50 | 25 | 12 |
| 3 | 75 | 87 | | 50 | 75 | 50 | 50 | 18 | 6 |
| 4 | 75 | 50 | 50 | | 75 | 25 | 50 | 6 | 6 |
| 5 | 100 | 62 | 25 | 50 | | 25 | 50 | 25 | 25 |
| 6 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | | 68 | 31 | 31 |
| 7 | 75 | 62 | 62 | 87 | 75 | 62 | | 50 | 37 |
| 8 | 75 | 87 | 93 | 100 | 75 | 100 | 100 | | 87 |
| 9 | 87 | 93 | 100 | 87 | 100 | 100 | 100 | 100 | |

**b) indicatorii de discordanță**

Actual

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 14 | 42 | 42 | 14 | 85 | 85 | 100 | 100 |
| 2 | 14 | | 42 | 42 | 28 | 85 | 85 | 100 | 100 |
| 3 | 57 | 57 | | 28 | 57 | 57 | 57 | 57 | 57 |
| 4 | 85 | 85 | 28 | | 85 | 42 | 42 | 57 | 57 |
| 5 | 57 | 57 | 28 | 42 | | 71 | 71 | 85 | 85 |
| 6 | 100 | 100 | 57 | 42 | 100 | | 14 | 57 | 57 |
| 7 | 100 | 100 | 57 | 42 | 100 | 71 | | 85 | 42 |
| 8 | 57 | 57 | 14 | 0 | 57 | 0 | 0 | | 28 |
| 9 | 85 | 85 | 42 | 28 | 57 | 71 | 0 | 85 | |

Perspectiva

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 14 | 28 | 42 | 14 | 85 | 85 | 85 | 85 |
| 2 | 14 | | 28 | 42 | 28 | 85 | 85 | 85 | 85 |
| 3 | 57 | 57 | | 28 | 57 | 57 | 57 | 57 | 57 |
| 4 | 85 | 85 | 28 | | 85 | 42 | 42 | 57 | 42 |
| 5 | 0 | 14 | 14 | 42 | | 57 | 71 | 71 | 71 |
| 6 | 100 | 100 | 57 | 42 | 100 | | 14 | 57 | 57 |
| 7 | 100 | 100 | 57 | 42 | 100 | 14 | | 57 | 57 |
| 8 | 57 | 57 | 14 | 0 | 57 | 0 | 0 | | 28 |
| 9 | 57 | 57 | 14 | 0 | 57 | 0 | 0 | 0 | |

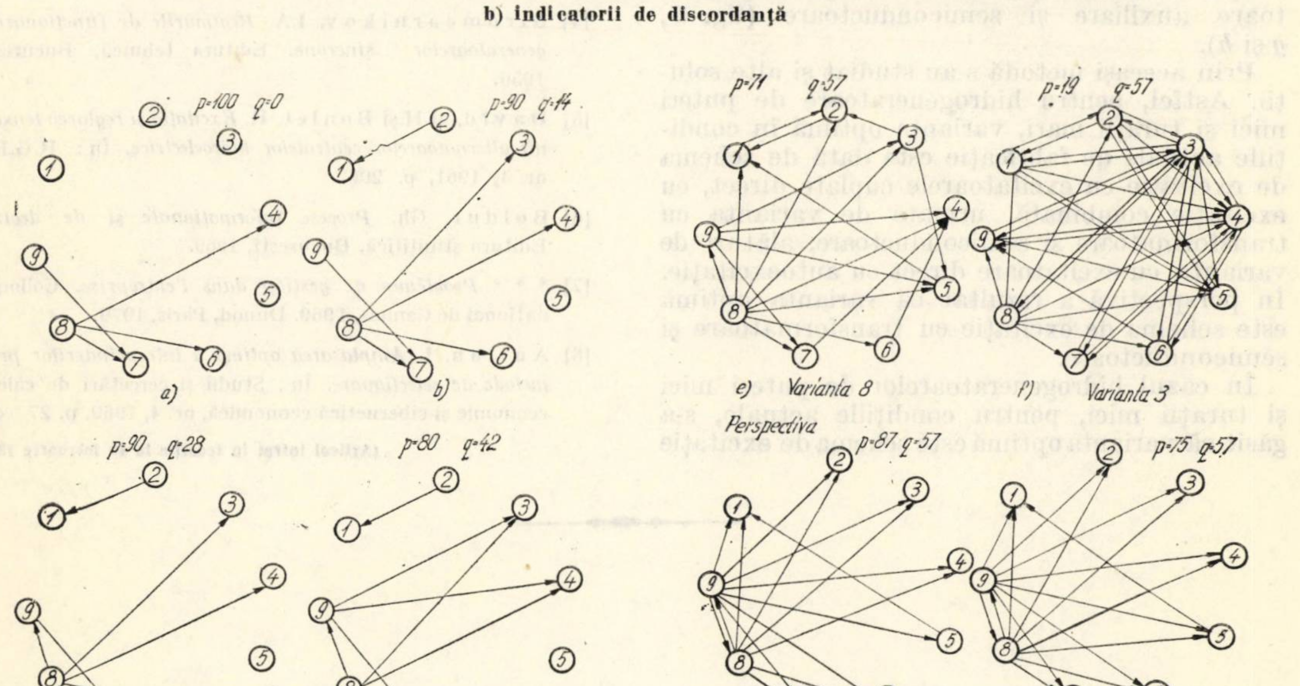



Fig. 6. Hidrogeneratoare de puteri mari cu turații mari (situație actuală).

Calculul indicatorilor de concordanţă şi de discordanţă, exprimaţi procentual, este prezentat în tabelul 2, pentru situaţia actuală, respectiv de perspectivă. $C_{12}$ în tabel ocupă poziţia de pe linia 1, coloana 2.

Reprezentarea grafică a deciziei pe baza indicatorilor de concordanţă şi de discordanţă este redată în figura 6, *a* — *h*. Pentru unele valori-prag ale coeficienţilor de concordanţă şi de discordanţă luate din tabel, între anumite variante apar aprecieri de depăşire (surclasare). De exemplu, pentru $p = 100$ şi $q = 0$, această condiţie este îndeplinită la: $C_{84}$, $C_{86}$, $C_{87}$, $C_{97}$, respectiv $d_{84}$, $d_{86}$, $d_{87}$ şi $d_{97}$. Rezultă că varianta *8* depăşeşte variantele *4*, *6*, *7*, iar varianta *9* depăşeşte varianta *7*. Grafic săgeata este orientată spre varianta depăşită. Reprezentarea grafică a acestor valori este dată în figura 6 *a*. Se scad progresiv valorile-prag *p* şi se cresc valorile *q*, pînă cînd o variantă depăşeşte toate celelalte variante luate în studiu. Pentru $p = 7$ şi $q = 57$, varianta *8* este optimă (grafic, în figura 6 toate săgeţile sînt orientate spre celelalte variante).

Din studiul realizat rezultă că în cazul hidrogeneratoarelor de puteri mari cu turaţii mari, soluţia optimă o constituie schema de excitaţie, cu generatoare auxiliare şi semiconductoare. Alte variante preferate sînt schemele de excitaţie cu transformatoare şi tiristoare şi schema de excitaţie cu excitatoare cu plată directe cu excitaţie combinată. În perspectivă, datorită modificărilor survenite, soluţia optimă va fi dată de schema de excitaţie, cu transformatoare şi semiconductoare, urmată de soluţia cu generatoare auxiliare şi semiconductoare (fig. 6, *g* şi *h*).

Prin aceeaşi metodă s-au studiat şi alte soluţii. Astfel, pentru hidrogeneratoare de puteri mici şi turaţii mari, varianta optimă în condiţiile actuale de fabricaţie este dată de schema de excitaţie cu excitatoarele cuplate direct, cu excitaţie combinată, urmată de varianta cu transformatoare şi semiconductoare, alături de varianta cu excitatoare direct cu autoexcitaţie. În perspectivă a rezultat că varianta optimă este schema de excitaţie cu transformatoare şi semiconductoare.

În cazul hidrogeneratoarelor de puteri mici şi turaţii mici, pentru condiţiile actuale, s-a găsit că varianta optimă este schema de excitaţie cu excitatoare cuplate direct, cu excitaţie combinată, urmată de schema de excitaţie cu transformatoare şi semiconductoare. După asigurarea condiţiilor necesare în perspectivă, soluţia optimă va fi dată de schema de excitaţie cu transformatoare şi semiconductoare.

Rezultatele obţinute prin aplicarea metodei „ELECTRE" converg spre soluţiile care s-au preconizat global a fi aplicate la schemele de excitaţie. Prin aceasta se demonstrează posibilitatea de a selecta în viitor variantele pentru schemele de excitaţie, utilizînd tehnici moderne de studiu şi decizie.

Ţinîndu-se seama de toate criteriile independente care se utilizează la alegerea variantelor şi de importanţa fiecărui criteriu în aprecierea unei scheme de excitaţie, considerăm că metoda „ELECTRE" este un instrument util în luarea deciziilor raţionale.

**Bibliografie**


[1] A p e t r e i, C. *Criterii pentru aprecierea tehnico-economică a schemelor de excitaţie a maşinilor sincrone.* În: Studii şi cercetări de energetică, nr. 1, 1960. Editura Academiei R.S.R., p. 127—144.

[2] C r ă c i u n e s c u, V. *Studiu privind alegerea a trei sisteme de excitaţie noi.* I.P.E.E., 1967.

[3] C r e ţ u, D. *Studiu critic experimental al sistemelor de forţare a excitaţiei generatoarelor sincrone.* În: Studii şi cercetări de energetică, nr. 1, 1960. Editura Academiei R.S.R., p. 145—158.

[4] S i r o m e a r n i k o v, I.A. *Regimurile de funcţionare a generatoarelor sincrone.* Editura tehnică, Bucureşti, 1956.

[5] D a v i d, M.H. şi B o u l e t, R. *Excitaţia şi reglarea tensiunii alternatoarelor centralelor hidroelectrice.* În: R.G.E., nr. 4, 1961, p. 208.

[6] B o l d u r, Gh. *Procese informaţionale şi de decizie.* Editura ştiinţifică, Bucureşti, 1969.

[7] * * * *Problémes de gestion dans l'entreprise.* Colloque national de Cannes, 1969. Dunod, Paris, 1970.

[8] A u r i a n, I. *Amplasarea optimă a întreprinderilor prin metode de selecţionare.* În: Studii şi cercetări de calcul economic şi cibernetică economică, nr. 4, 1969, p. 27—48.


**(Articol intrat în redacţie la 10 februarie 1972)**

# Analiza regimului termic și mecanic al supraîncălzitorului convectiv al cazanului TGM — 84 — 3

Ing. A. Leca*)

și ing. I. Prisecaru

### Date și ipoteze de calcul

Lucrarea a avut drept scop efectuarea calculului schimbului de căldură, stabilirea distribuției temperaturii și a solicitărilor mecanice în țevile supraîncălzitorului convectiv la un cazan TGM—84—3, în vederea determinării condițiilor de rezistență și a posibilităților de folosire în continuare a materialului acestora, după o perioadă de funcționare de circa 63 000 de ore. Necesitatea acestor calcule s-a datorat apariției unui număr mare de spargeri de țevi la supraîncălzitorul convectiv al cazanului menționat, fenomen care s-a intensificat în ultimele 25 000 de ore de funcționare. Ca măsură profilactică s-a adoptat reducerea temperaturii aburului viu de la 570 la 555°C și funcționarea la sarcină parțială.

Regimul termic și mecanic al supraîncălzitorului convectiv a fost analizat pentru următoarele cazuri :

1. Cazan nou, avînd caracteristicile din proiect, la parametri nominali 420 tf/h, 140 ata, 570°C.
2. Cazan după 43 000 de ore de funcționare, avînd sarcina de 415 tf/h, iar parametrii aburului viu 140 ata, 565°C.
3. Cazan după 63 000 de ore de funcționare, cu parametrii aburului viu 140 ata, 555°C și debitul de abur de 420 tf/h, respectiv de 305 tf/h.

Datele inițiale pentru calcul au fost obținute din proiectul cazanului elaborat de fabrica constructoare, din rapoartele zilnice de exploatare a cazanului și din măsurătorile efectuate de I.R.M.E., în cadrul unui studiu al cazanului menționat, ultimele fiind prezentate în tabelul 1.

*Tabelul 1*

**Diferența dintre temperatura peretelui exterior al țevii și temperatura aburului în secțiunea de intrare ($\Delta t_1$) și de ieșire ($\Delta t_2$) a supraîncălzitorului convectiv (măsurători I.R.M.E.)**

| Nr. crt. | Debitul de abur, tf/h | Temperatura aburului viu, °C | $\Delta t_1$, °C | $\Delta t_2$, °C |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 250 | 555 | 32—35 | 9—13 |
| 2 | 420 (regim cu nearse chimic) | 555—570 | 50—80 | 13—23 |
| 3 | 420 | 555—570 | 40—60 | 11—19 |
| 4 | 380 | 560—565 | 58—65 | 9—19 |

*) Aureliu Leca este șef de lucrări la Institutul politehnic București, catedra de Centrale Electrice. Ilie Prisecaru este asistent.

Ca materiale ale țevilor supraîncălzitorului convectiv au fost considerate separat oțelul de execuție 12HMF și oțelul 12H1MF, avînd caracteristicile de rezistență din tabelul 2.

*Tabelul 2*

**Caracteristicile de rezistență ale oțelurilor 12HMF și 12H1MF la 100 000 de ore de funcționare [1]**

| Oțelul | Rezistența de rupere la temperatura de regim, kgf/mm² | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 500°C | 525°C | 550°C | 575°C | 600°C |
| 12HMF | 12,6 | 9,5 | 7,4 | 5,3 | (4) |
| 12H1MF | 19 | 15 (la 530°C) | 11 | 6,5 (la 580°C) | 6(6,4) |

*Observație* : Drept caracteristică de rezistență în intervalul de temperatură considerat a fost aleasă limita de rupere la 100 000 de ore de funcționare.

Dimensiunile nominale ale țevilor sînt : diametrul exterior 38 mm, grosimea peretelui 6 mm.

Pentru calcul au fost făcute următoarele ipoteze :

1. Diferența dintre temperatura peretelui exterior al țevii și temperatura aburului variază liniar în lungul supraîncălzitorului (între $\Delta t_1$ și $\Delta t_2$, date în tabelul 1).
2. Presiunea aburului variază liniar în lungul supraîncălzitorului convectiv ; presiunea aburului la intrare este 145 ata, iar la ieșire 140 ata.
3. Conductivitatea termică $\lambda$ [kcal/m.h.grd] a materialului țevii este variabilă cu temperatura, și anume : 28,0 ; 25,2 ; 22,0 kcal/m.h. grd, respectiv la temperaturile de 500, 600 și 700°C [2].
4. Subțierea în timp a peretelui țevii datorită țunderizării sub acțiunea gazelor de ardere $\Delta S_1$[mm] și sub acțiunea aburului $\Delta S_2$[mm] a fost determinată pe baza nomogramelor de calcul din figurile 1 și 2, stabilite pentru oțelul 12H1MF [3].

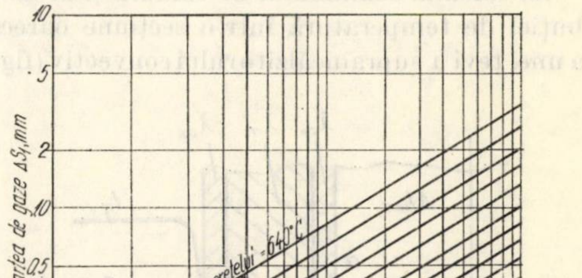



Fig. 1. Nomogramă pentru determinarea subțierii peretelui țevii pe partea de gaze de ardere $\Delta S_1$ [mm] pentru oțelul 12H1MF.

5. În calcul s-a considerat variaţia proprietăţilor fizice ale aburului cu temperatura acestuia [2].

6. Modificarea proprietăţilor fizice şi mecanice ale materialului ţevii cu temperatura a fost considerată conform datelor publicate în lucrările [1], [2].

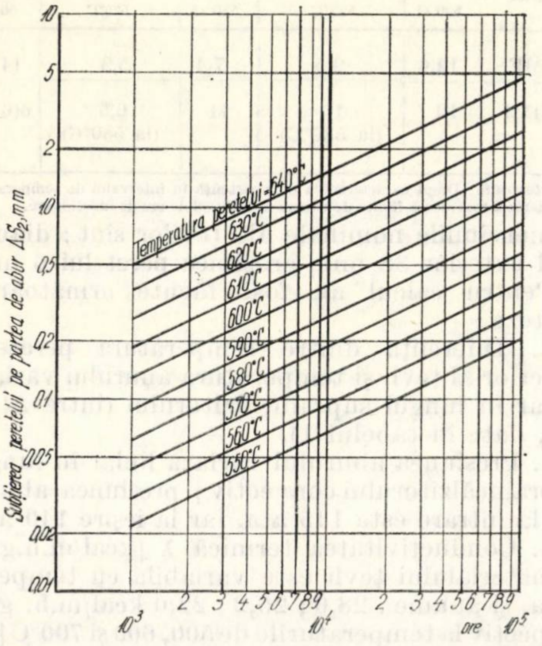



Fig. 2. Nomogramă pentru determinarea subţierii peretelu ţevii pe partea de abur $\Delta S_2$ [mm] pentru oţelul 12H1MF

## Relaţii de calcul şi prelucrarea datelor

La calculul schimbului de căldură şi al distribuţiei de temperatură într-o secţiune oarecare a unei ţevi a supraîncălzitorului convectiv (fig. 3)

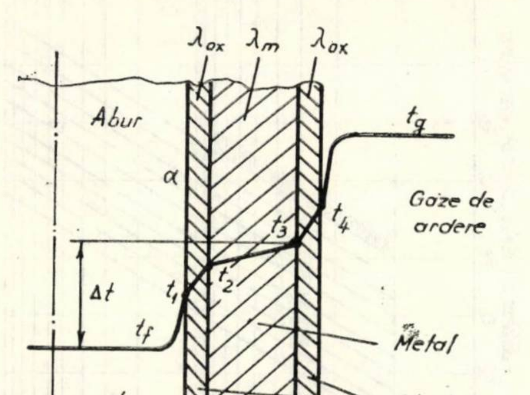



Fig. 3. Distribuţia temperaturii în ţeava supraîncălzitorului convectiv.

s-a folosit pentru determinarea fluxului termic liniar $q_l$ formula :

$$q_l = \frac{\Delta t}{\frac{1}{\pi d_1 \alpha} + \frac{1}{2\pi\lambda_{ox}} \ln\frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\pi\lambda_m} \ln\frac{d_3}{d_2}} \text{ [kcal/m.h]}, \quad (1)$$

în care

$\Delta t$ este diferenţa de temperatură dintre peretele exterior al ţevii şi abur în secţiunea considerată, grd;

$\alpha$ — coeficientul de trecere a căldurii prin convecţie de la peretele interior al ţevii la abur, kcal/m².h.grd;

$\lambda_{ox}, \lambda_m$ coeficientul de conductivitate termică al stratului de oxid (ţunder), respectiv al metalului peretelui ţevii, kcal/m.h.grd;

$d_1, d_2, d_3$ — diametre având semnificaţia din figura 3.

Coeficientul de convecţie $\alpha$ [kcal/m².h.grd] a fost stabilit cu ajutorul relaţiei criteriale a lui Miheev [4]:

$$Nu_f = 0{,}021\ Re_f^{0,8}\ Pr_f^{0,43}\ (Pr_f/Pr_p), 0{,}25 \quad (2)$$

în care

$Nu_f$, $Re_f$ şi $Pr_f$ reprezintă respectiv numerele Nusselt, Reynolds şi Prandtl la temperatura aburului $t_f$, în secţiunea de curgere considerată;

$Pr_p$ — numărul Prandtl la temperatura peretelui $t_1$ (fig. 3).

Efortul unitar de calcul (efectiv) din peretele ţevii $\sigma_{ef}$ se calculează cu expresia :

$$\sigma_{ef} = \sigma_p + \sigma_t \text{ [kgf/mm}^2\text{]} \quad (3)$$

în care efortul datorat presiunii interioare $\sigma$ se determină cu următoarea formulă recomandată de lucrarea [5] pentru ţevi care funcţionează în condiţii de fluaj :

$$\sigma_p = p\,\frac{\beta + 1}{2(\beta - 1)} \text{ [kgf/mm}^2\text{]}. \quad (4)$$

Efortul datorat căderii de temperatură în peretele ţevii $\sigma_t$ se stabileşte cu formula [6]:

$$\sigma_t = \frac{E\alpha^*(t_3 - t_2)}{2(1-\mu)}\left[\frac{2\beta^2}{\beta^2 - 1} - \frac{1}{\ln\beta}\right] \text{[kgf/mm}^2\text{]} \quad (5)$$

În relaţiile (4) şi (5):

$p$ este suprapresiunea interioară a aburului în secţiunea considerată, kgf/mm²;

$\beta$ — raportul dintre diametrul exterior şi interior al ţevii, $\beta = d_3/d_2$;

$E$ — modulul de elasticitate al oţelului la temperatura medie în perete, kgf/mm²;

$\alpha^*$ — coeficientul de dilatare termică a materialului ţevii la temperatura medie a peretelui, grd$^{-1}$;

$\mu$ — coeficientul de contracţie a secţiunii (coeficientul lui Poisson).

Efortul unitar admisibil al materialului $\sigma_{ad}$ [kgf/mm$^2$] s-a ales în funcţie de temperatura de calcul a peretelui ţevii, ultima fiind determinată după metoda indicată în [7] cu formula:

$$t_{calc} = t_2 + k_{calc}\ (t_3 - t_2) \qquad [°C], \quad (6)$$

în care

$k_{calc}$ este coeficientul de calcul stabilit cu ajutorul nomogramelor din figura 4;

$t_2, t_3$ — temperaturi cu semnificaţia din figura 3.

Formula (6) şi diagramele din figura 4 au fost stabilite pentru cazul ţevilor supraîncălzitoarelor din cazanele de abur, conducînd la date mai precise pentru determinarea temperatu-

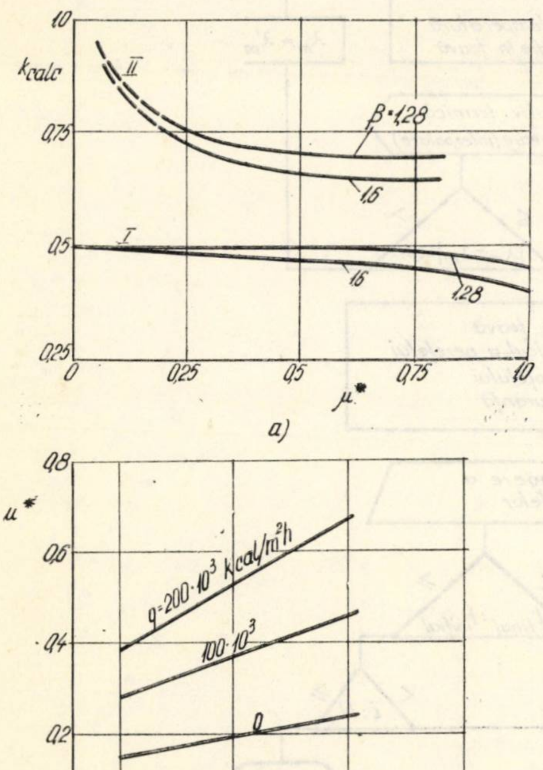



Fig. 4. Nomogramă pentru determinarea temperaturii de calcul al peretelui cu formula (6):

*a* — coeficientul de calcul $k_{calc}$; *b* — coeficientul raportat de fluaj $\mu^*$ pentru figura 4 *a* ($q$ — fluxul termic de suprafaţă).

rii de calcul a peretelui ţevilor [7]. Curbele *I* din figura 4 *a* arată că la considerarea vitezei de curgere în calculul de fluaj al ţevilor, valoarea temperaturii de calcul a peretelui este foarte apropiată de media aritmetică a temperaturilor suprafeţei interioare şi exterioare a ţevii; pentru $\mu^* = 0\ldots1$, $k_{calc} \approx 0{,}5$, astfel că $t_{calc} \approx 0{,}5\ (t_2 + t_3)$. Considerarea condiţiilor de rupere a ţevii la oboseală (curbele *II* din fig. 4*a*) arată că temperatura de calcul a peretelui depăşeşte substanţial temperatura medie în perete, recomandată ca valoare de calcul de normele sovietice actuale [8].

Coeficientul de siguranţă $C$ a fost definit ca raportul dintre efortul de rupere la 100 000 de ore $\sigma_{r,\,100\,000,\,t}$ la temperatura de calcul $t_{calc}$ şi efortul unitar de calcul (efectiv) $\sigma_{ef}$, stabilit cu ajutorul relaţiilor (3), (4), (5):

$$C = \sigma_{r,\,100\,000,\,t} / \sigma_{ef} \qquad (7)$$

Prelucrarea datelor s-a făcut pe calculatorul IBM — 1130 al Centrului de calcul al Institutului politehnic Bucureşti, pe baza algoritmului prezentat în organigrama din figura 5. Pentru toate cazurile menţionate anterior s-au calculat următoarele date: $t_{ab}$, $q_i$, $t_2$, $t_3$, $\sigma_{r,\,100\,000,\,t}$, $\sigma_{ef}$ şi $C$, urmărind modificarea acestora în lungul supraîncălzitorului convectiv, corespunzător unui pas de 1 grd în variaţia temperaturii aburului; programul a folosit o subrutină de interpolare a unor caracteristici fizice şi mecanice în funcţie de temperatură.

**Interpretarea rezultatelor şi concluzii**

Cazanul de abur nou a fost prevăzut cu o suprafaţă de schimb de căldură a supraîncălzitorului convectiv de 1 750 m$^2$. La sarcina nominală de 420 tf/h, temperatura aburului în supraîncălzitorul convectiv a variat între 520 şi 570°C, în care caz, pentru $\Delta t_1 = 40$ grd, coeficientul de siguranţă $C$ a scăzut de la 1,17 la intrare pînă la 1,122 la ieşirea din supraîncălzitor.

În realitate, din motive legate de reglajul temperaturii aburului viu, cazanul a funcţionat chiar de la început cu supraîncălzitorul convectiv redus la 1 225 m$^2$, prin scurtarea pachetului central. Pentru atingerea la sarcina nominală a temperaturii aburului la ieşire de 570°C a fost necesară ridicarea temperaturii aburului la intrarea în supraîncălzitorul convectiv pînă la 540—545°C. Acest fapt a dus la modificarea distribuţiei de temperatură în lungul suprafeţei de schimb de căldură (stabilind temperaturi mai ridicate ale metalului în porţiunea de intrare), la apariţia unei zone în care efortul efectiv depăşeşte caracteristica de rezistenţă a oţelului, la îmbătrînirea accentuată şi prematură a metalului şi la apariţia avariilor, fenomenul accentuîndu-se în timp.

În figura 6 *a* se prezintă rezultatele calculelor pentru cazanul de abur la sarcina de 415 tf/h, după 43 000 de ore de funcţionare, temperatura aburului în supraîncălzitorul convectiv fiind de 535/565°C; diferenţa de temperatură dintre peretele exterior al ţevii şi abur la intrare $\Delta t_1 = 40$ grd. Scăderea temperaturii finale a aburului viu implică micşorarea temperaturii acestuia la intrare de la 540 la 535°C. În

aceste condiţii în porţiunea de intrare se egalează pentru oţelul 12HMF efortul efectiv cu cel de rupere ($C = 1$) ; la ieşire $C = 1{,}21$. Creşterea lui $\Delta t_1$ cu 10 grd determină depăşirea cu 20 % în zona de intrare a rezistenţei materialului de execuţie, făcînd posibilă apariţia spargerilor de ţevi pînă la punctul la care temperatura aburului atinge valoarea de 553°C (fig. 6*b*). În cazul oţelului 12H1MF coeficientul $C$ variază între 1,191, la intrare, şi 1,778, la ieşirea din supraîncălzitorul convectiv.

Apariţia în continuare a spargerilor de ţevi la temperatura nominală a aburului viu a determinat reducerea acesteia la 555°C. În figura 7 sînt arătate diagramele de variaţie a temperaturilor $t_2$, $t_3$ şi $t_c$ şi a eforturilor unitare $\sigma_{ef}$ şi $\sigma_{r.100\,000\,t}$ (pentru cele două oţeluri considerate), în lungul supraîncălzitorului convectiv la 63 000 de ore de funcţionare. Temperaturile aburului, debitul cazanului şi căderea de temperatură au fost respectiv : 530/555°C, 420 tf/h, $\Delta t_1 = 50$ grd (fig. 7 *a*) şi 525/555°C, 305 tf/h, $\Delta t_1 = 35$ grd (fig. 7 *b*). Din cele două diagrame reiese clar că reducerea temperaturii finale, fără micşorarea sarcinii, nu uşurează condiţiile de lucru ale oţelului.

Calculele prezentate mai sus au folosit pentru diferenţele de temperatură $\Delta t_1$ şi $\Delta t_2$ valorile măsurate minime sau medii din tabelul 1, în care caz temperatura maximă în metal $t_3$ a variat ca în figurile 6 şi 7. Considerarea însă a valorilor măsurate maxime $\Delta t_1$ şi $\Delta t_2$ are ca

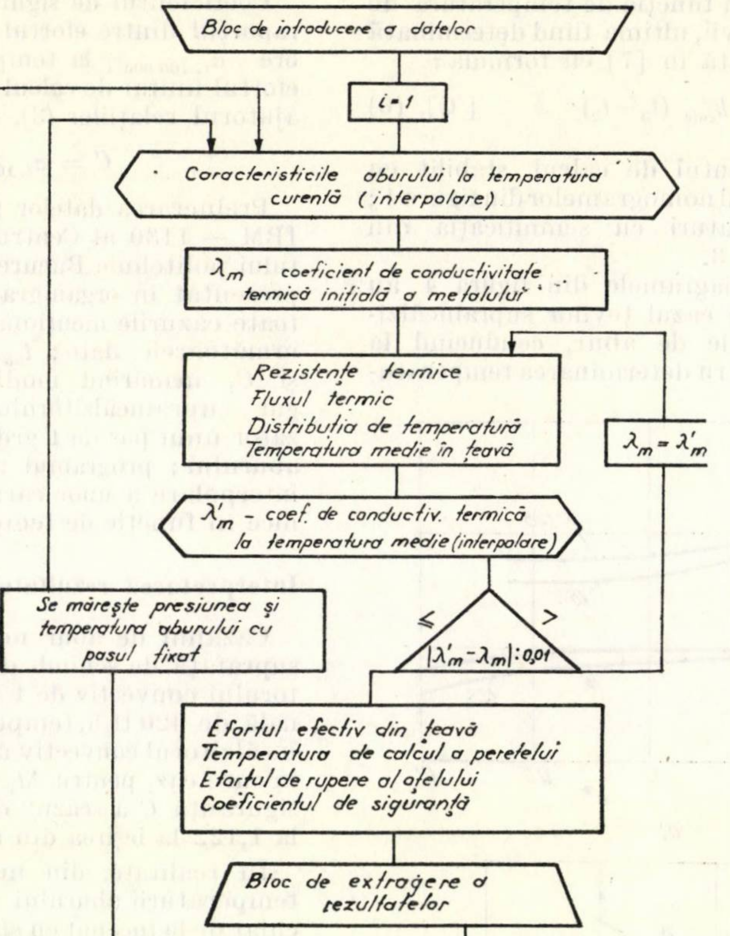



Fig. 5. Organigrama programului de calcul.

efect stabilirea unor temperaturi $t_3$ care ating valori de 595—615°C, depășindu-se temperatura-limită admisibilă pentru funcționarea de durată a oțelului (590°C pentru oțelul 12H1MF care pot ridica apreciabil temperatura metalului, și anume :

*a*) arderea chimic incompletă și configurația de lucru a arzătoarelor, care conduc la valori

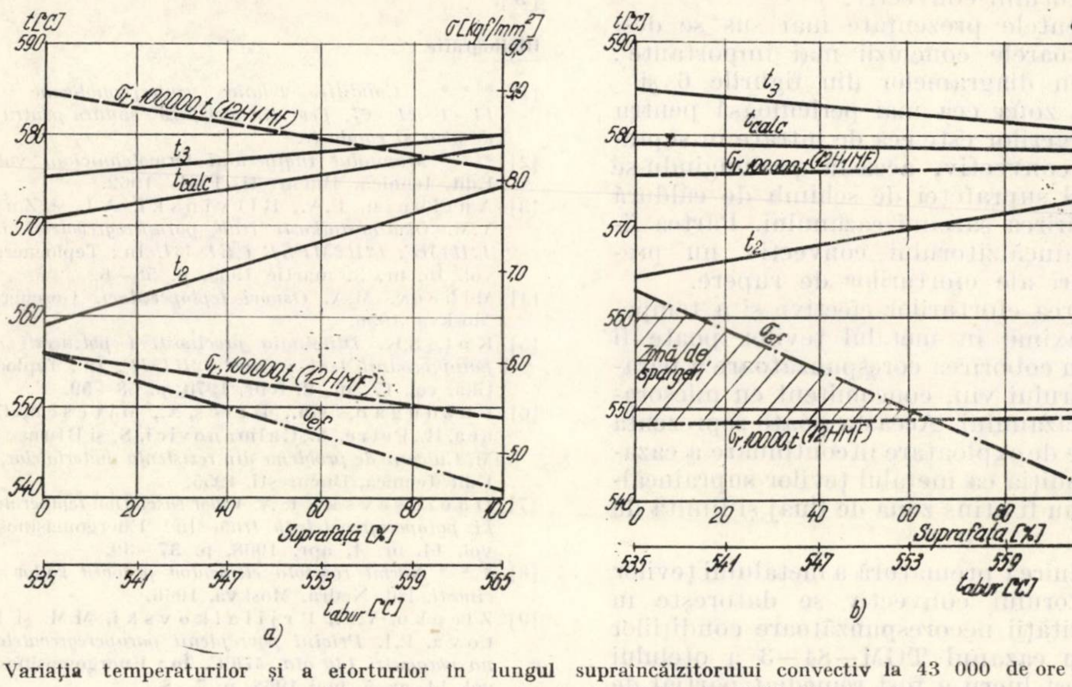



Fig. 6. Variația temperaturilor și a eforturilor în lungul supraîncălzitorului convectiv la 43 000 de ore de funcționare : *a* — 415 tf/h, 535/565°C, $\Delta t_1$ = 40 grd ; *b* — 415 tf/h, 535/565°C, $\Delta t_1$ = 50 grd.

Fig. 7. Variația temperaturilor și a eforturilor în lungul supraîncălzitorului convectiv la 63 000 de ore de funcționare : *a* — 420 tf/h, 530/555°C, $\Delta t_1$ = 50 grd ; *b* — 305 tf/h, 525/555°C, $\Delta t_1$ = 35 grd.

[9]) ; în acest caz efortul unitar efectiv depășește cu 30—40 % efortul de rupere.

Se menționează că în calculele efectuate nu au fost luați în considerație o serie de factori

$\Delta t_1$ de pînă la 80 grd, lucru ce se explică prin lungirea flăcării și menținerea unor temperaturi ridicate ale gazelor de ardere în zona supraîncălzitorului convectiv ;

b) neregularitățile constructive pe partea de gaze, care provoacă rezistențe hidraulice diferite și ca atare o repartiție neuniformă a debitului de gaze în secțiunea de curgere a acestora și un schimb de căldură neuniform cu țevile supraîncălzitorului convectiv.

Din elementele prezentate mai sus se desprind următoarele concluzii mai importante:

1. Conform diagramelor din figurile 6 și 7 rezultă că zona cea mai periculoasă pentru apariția spargerilor este cea de intrare în supraîncălzitorul convectiv, aceasta prelungindu-se spre mijlocul suprafeței de schimb de căldură odată cu mărirea sarcinii cazanului. Partea finală a supraîncălzitorului convectiv nu prezintă depășiri ale eforturilor de rupere.

2. Reducerea eforturilor efective și a temperaturilor maxime în metalul țevilor poate fi obținută prin coborîrea corespunzătoare a parametrilor aburului viu, concomitent cu micșorarea sarcinii cazanului. Aceasta poate reprezenta o posibilitate de exploatare în continuare a cazanului, cu condiția ca metalul țevilor supraîncălzitorului să nu fi atins zona de fluaj și limita de oboseală.

3. Îmbătrînirea prematură a metalului țevilor supraîncălzitorului convectiv se datorește în principal calității necorespunzătoare condițiilor de lucru din cazanul TGM–84–3 a oțelului 12HMF. Acest lucru a fost remediat parțial de constructor prin înlocuirea lui cu oțelul 12H1MF, care reprezintă o variantă îmbunătățită a oțelului inițial. Se apreciază însă că și utilizarea oțelului 12H1MF în cazanele TGM–84–3 este nepotrivită, avînd în vedere regimul de temperatură în zona supraîncălzitorului convectiv [9].

**Bibliografie**


[1] * * * *Condiții tehnice interrepublicane MRTU 14–4–21–67. Țevi din oțel fără sudură pentru cazane de abur și conducte.*

[2] * * * *Manualul inginerului termotehnician*, vol. 1–3. Edit. tehnică, București, 1961–1962.

[3] Antikain, P.A., Rîtvinski, A.I. și Zusman, V.M. *Okalinostoikosti trub paroperegrevatelei iz stalei 12H1MF, 12H2MFSR i EI 531.* În: Teploenerghetika, vol. 16, nr. 3, martie 1969, p. 58–62.

[4] Miheev, M.A. *Osnovî teploperedaci.* Gosenergoizdat, Moskva, 1956.

[5] Kaț, S.K. *Dlitelnaia procinosti i polzucesti naturnîh paroprovodnîh trub iz stali 12H1MF.* În: Teploenerghetika, vol. 17, nr. 2, febr. 1970, p. 58–59.

[6] Buzdugan, Gh., Beleș, A., Mitescu, C., Voinea, R., Petre, A., Calmanovici, S. și Blumenfeld, M. *Culegere de probleme din rezistența materialelor*, vol. II. Edit. tehnică, București, 1955.

[7] Daniușevski, I. A. *Vibor rasciotnoi temperaturî stenki paroperegrevatelnîh trub.* În: Energomașinostroenie, vol. 14, nr. 4, apr. 1968, p. 37–39.

[8] * * * *Normî rasciota elementov parovîh kotlov na procinosti.* Izd. Nedra, Moskva, 1966.

[9] Zlepko, V.F., Prjiialkovski, M.M. și Fedotova, L.I. *Pricinî povrejdenii paroperegrevatelei kotlov na parametrî 140 ata, 570°C.* În: Energomașinostroenie, vol. 14, nr. 5, mai 1968, p. 7–8.



(Articol intrat în redacție la 24 aprilie 1972)


# Pierderea de presiune în conducte


Ing. C.I. Staicu*)


### Coeficientul de frecare

Se consideră curgerea permanentă cu viteza medie $v$ a unui fluid incompresibil într-o conductă cu diametrul interior $d$. Coeficientul de frecare $\lambda$ se definește cu relația

$$4\frac{\tau}{\gamma} = \lambda\frac{v^2}{2g}, \tag{1}$$

în care

$\gamma$ este greutatea specifică;

$g$ — accelerația gravitației;

$\tau$ — efortul tangențial definit după Newton de relația $\tau = \eta\dfrac{dv}{dx}$, $\eta$ fiind viscozitatea dinamică.

Din (1) și din relația pentru pierderea de presiune

$$\frac{\pi d^2}{4}\Delta_p = \pi d l \tau, \tag{2}$$

rezultă pierderea de presiune

$$\Delta_p = \lambda\gamma\frac{v^2}{2g}\cdot\frac{l}{d}. \tag{3}$$

În literatura de specialitate aceste relații sînt afectate și de alți factori numerici, ceea ce este, de asemenea, corect.

### Pierderea de presiune

Pentru a exprima pe $\lambda$ printr-o relație, se pornește de la constatarea experimentală că, în mișcarea turbulentă, pierderea de presiune $\Delta_p$ variază în funcție de mărimile din (3) și, în plus, în funcție de viscozitatea dinamică $\eta$ și de rugozitatea peretelui $\varepsilon$, precum și de la constatarea că $\Delta_p$ variază direct proporțional cu lungimea $l$. Deci

$$\Delta_p = f(\rho, v, l, d, \eta, \varepsilon),$$

în care s-a ținut seama că masa specifică $\rho = f(\gamma \cdot g)$.

Pentru stabilirea formei acestei relații se folosește analiza dimensională (sau teorema $\pi$); în cadrul primei posibilități se scrie, după Rayleigh

$$\Delta_p = k\cdot\rho^a\cdot v^b\cdot l\cdot d^c\cdot\eta^e\cdot\varepsilon^f. \tag{4}$$


*) Constantin I. Staicu este cercetător științific principal la ICENERG.

În sistemul dimensional cu $d^* = 3$ mărimi fundamentale (lungime, masă, timp), dimensiunile mărimilor din (4) sînt următoarele

$$[\Delta_p] = L^{-1} \cdot M \cdot T^{-2} \quad [l, d, \varepsilon] = L$$
$$[\rho] = L^{-3} \cdot M \quad [\eta] = L^{-1} \cdot M \cdot T^{-1} \quad (5)$$
$$[v] = L \cdot T^{-1}$$

Prin introducerea în (4) a ecuaţiilor (5) şi prin aplicarea principiului omogenităţii, rezultă sistemul de $e^* = 3$ ecuaţii liniare, neomogene cu $n^* = 5$ necunoscute

$$-1 = -3a + b + 1 + c + e + f \quad (L)$$
$$1 = a + e \quad (M)$$
$$-2 = -b - e. \quad (T)$$

Deoarece $n^* - e^* = 2$, se admit variabile independente, de exemplu, necunoscutele $e$ şi $f$; se obţin soluţiile

$$a = 1 - e$$
$$b = 2 - e$$
$$c = -1 - e - f.$$

Cu aceste soluţii relaţia (4) devine

$$\Delta_p = k \rho v^2 \frac{l}{d} \cdot \varphi\left(R_e \cdot \frac{\varepsilon}{d}\right), \quad (6)$$

în care $Re$ este invariantul Reynolds.

Din comparaţia relaţiilor (3) şi (6) rezultă că

$$\lambda = 2\, k\varphi\left(Re, \frac{\varepsilon}{d}\right), \quad (7)$$

în care $\varphi$ este o funcţie nedeterminată teoretic. Ca urmare s-a folosit metoda experimentală. Studiul pe această cale al variaţiei lui $\lambda$ cu numărul $Re$ şi cu rugozitatea pereţilor a fost făcut de Nikuradze (conducte) şi Zegjda (canale dreptunghiulare). În literatura de specialitate sînt indicate diverse formule pentru $\lambda$, deduse experimental [1], [2], [3].

**Funcţia $\varphi$**

Pentru a stabili forma funcţiei $\varphi$ pe baze teoretice, se va folosi, în cele ce urmează, analiza dimensională generală, dezvoltată de autor [4], [5], [6], [7], [8], [9].

Pe baza teoremei fundamentale a analizei dimensionale generale [4], relaţia (4), se scrie sub forma

$$\left(\frac{\Delta_p}{l}\right)^h d^c = k\, \rho^a\, v^b\, \eta^e\, \varepsilon^f, \quad (8)$$

în care s-a făcut distribuţia corectă a mărimilor între membri şi s-au afectat exponenţi necunoscuţi la toate mărimile.

Prin introducerea în (8) a ecuaţiilor (5) şi prin aplicarea principiului omogenităţii rezultă sistemul de $e^* = 3$ ecuaţii liniare, omogene cu $n^* = 6$ necunoscute

$$-2h + c = -3a + b - e + f \quad (L)$$
$$h = a + e \quad (M) \quad (9)$$
$$-2h = -b - e. \quad (T)$$

La rezolvarea acestui sistem de ecuaţii se aplică metoda omogenizării progresive a mărimilor fundamentale [7], [8], [9]. Pe baza legii omogenizării progresive [6], se consideră ecuaţia (9$M$) cu cel mai mic număr de termeni şi pe baza legii valorilor minime, întregi, pozitive [5], rezultă soluţiile unice $a = 1$, $e = 1$ şi $h = 2$. Pe baza [6] se consideră ecuaţia (9 $T$), care în acest caz are acelaşi număr de termeni cu (9 $M$) şi, ţinînd seama de soluţiile stabilite, rezultă $4 = b + 1$, de unde, pe baza [5], se obţine soluţia unică $b = 3$. Ecuaţia (9 $L$) cu cel mai mare număr de termeni devine $c - f = 3$ şi, pe baza [5], conduce la soluţiile unice $c = 4$ şi $f = 1$.

Cu aceste valori, (8) devine

$$\left(\frac{\Delta_p}{l}\right)^2 d^4 = k\, \rho\, v^3\, \eta\, \varepsilon$$

sau, sub altă formă

$$\Delta_p = k\, l\, d^{-2} \sqrt{\rho\, v^3\, \eta\, \varepsilon}.$$

Se face precizarea că rezolvarea sistemului de ecuaţii (9) nu trebuie începută cu ecuaţia (9 $T$), ceea ce este corect pe baza legii omogenizării progresive (această ecuaţie are acelaşi număr de termeni ca ecuaţia considerată iniţial), căci, în acest caz, se obţine o imposibilitate ($a = 0$); această concluzie conduce la eliminarea mărimii $\rho$, ceea ce nu se poate admite, deoarece s-a constatat experimental că ea determină variaţia pierderii de presiune în conductă.

Rezultatul obţinut este diferit de (6). În (8) $k$ este un factor numeric de proporţionalitate. Cunoştinţele actuale privind variaţia pierderii de presiune cu un coeficient de frecare, dat de (7), se simplifică. Valoarea lui $k$ se poate stabili experimental.

**Bibliografie**


[1] K a y, M. J. *Introduction à la mécanique des fluides et la transmision de la chaleur.* Dunod, Paris, 1964.

[2] P a v e l, I. D o r i n. *Hidraulica practică.* Vol. II. Editura Ion P. Gorjanu, Bucureşti, 1946.

[3] V a s i l e s c u, A. Al. *Curs de hidromecanică.* Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1962.

[4] S t a i c u, I. C. *Teorema fundamentală a analizei dimensionale generale.* În : Studii şi cercetări ştiinţifice — Fizică şi ştiinţe tehnice, anul XIII, fasc. 2, 1962, p. 195—172.

[5] S t a i c u, I.C. *Legea valorilor minime, întregi, pozitive în analiza dimensională generală.* În : Buletinul ştiinţific şi tehnic al Institutului politehnic Timişoara, tomul 12 (26), fasc. 2, 1967, p. 393—401.

[6] S t a i c u, I. C. *Legea omogenizării progresive în analiza dimensională generală* : În : Buletinul ştiinţific şi tehnic al Institutului politehnic Timişoara, tomul 14 (28), fasc. 2, 1969, p. 469—478.

[7] S t a i c u, I.C. *Analiza dimensională generală.* În : Buletinul Institutului politehnic Bucureşti, tomul XXX, nr. 2, 1968, p. 31—44.

[8] S t a i c u, I.C. *Nouvelle théorie basée sur l'expérimentation du transfert de la chaleur.* Comunicare prezentată la al 4-lea Congres internaţional de transmitere a căldurii. Versailles, 1970, 11 p.

[9] S t a i c u, I.C. *Contribution au développment de l'analyse dimensionelle générale.* Buletinul Institutului politehnic din Iaşi, tomul XVI (XX), fasc. 3—4, 1970, p. 109—116.



**(Articol intrat în redacţie la 20 aprilie 1971)**

# Randamentul realizat în conversia energiei chimice în energie electrică de o sursă chimică de tip zinc-aer

**M. Mavrodin-Tărăbîc, I. Onaca și I. Solacolu**[*)]

După cum s-a arătat într-o lucrare anterioară [1], pilele cu combustibil și pilele metal-aer sînt procedee moderne de obținere a energiei electrice, caracterizate prin randamente în conversia energiei mult mai ridicate decît cele realizate prin procedeele convenționale. Randamentul conversiei energiei depinde atît de randamentul termodinamic al reacției chimice ce stă la baza producerii curentului electric în condițiile practice de funcționare (presiune, temperatură), cît și de randamentul electric al pilei, în care sînt incluse pierderile energetice ireversibile (polarizări și pierderi ohmice) ce apar în timpul funcționării acesteia. Întrucît aplicațiile practice ale surselor chimice de curent sînt limitate la acele domenii în care nu sînt concurate de prețul de cost relativ redus al energiei electrice obținute prin procedeele convenționale, iar randamentul conversiei energiei este o componentă determinantă a prețului de cost al energiei electrice produse, studiile referitoare la randamentul energetic al unor astfel de surse de energie electrică prezintă un interes justificat.

În lucrarea de față se prezintă un studiu amănunțit al randamentului termodinamic și electric realizat de o pilă de tip zinc-oxigen construită în laborator, în comparație cu alte surse chimice de curent asemănătoare.

### Construirea pilei de tip zinc-oxigen

A fost realizată în laborator o pilă de tip zinc-oxigen :

$$(-)\ Zn/KOH\ 30\%/O_2(Ag)\ \ (+),$$

a cărei reprezentare schematică este arătată în figura 1.

Anodul pilei, constituit din plăci de zinc cu puritate de 99,9%, și catodul, un electrod de gaz de tip DSK (Doppel Skelet Katalyst) activat cu argint și alimentat dinamic cu oxigen (depolarizant catodic), au fost așezate într-o cuvă din polistiren, în care se găsește electrolitul (hidroxid de potasiu 30%). Pila a funcționat la temperatura de 25°C și a fost alimentată cu oxigen la suprapresiuni de 300 și de 400 mm Hg.

*) Maria Mavrodin-Tărăbîc, Ioana Onaca și Ion Solacolu lucrează la Centrul de chimie-fizică — București.

### Caracteristicile catodului

Drept catod, în pilă, a fost folosit un electrod de gaz de tip DSK de construcție proprie, caracterizat prin prezența în electrod a două

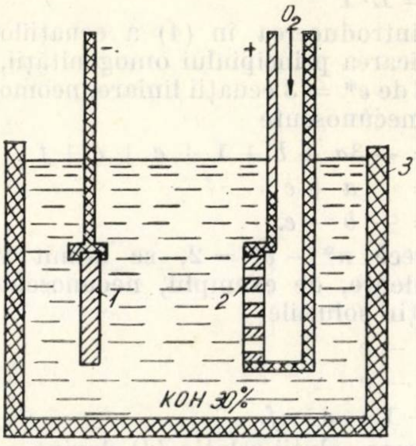



Fig. 1. Reprezentarea schematică a pilei zinc-oxigen : 1 — anod, zinc cu puritate 99,9%; 2 — catod, electrod de gaz de tip DSK; 3 — cuvă din polistiren.

feluri de pori : pori mari, cu diametrul de aproximativ 50 microni, în care este localizată zona de reacție, și pori mici, cu diametre de 5 microni, care au rolul de a alimenta zona mai mici, de reacție cu electrolit și de a îndepărta produșii de reacție formați.

Electrozii de gaz au fost realizați prin amestecarea unor cantități corespunzătoare de carbonat de argint (granule sub 5 microni) și bicarbonat de amoniu (granule de aproximativ 50 microni). Amestecurile au fost comprimate în matrițe la o presiune de 4 000 kgf/cm² și au fost supuse unui tratament termic (încălzire la temperatura de 140°C timp de 3 ore), astfel încît prin degajarea bioxidului de carbon, a amoniacului și a apei în masa materialului pastilat s-au format pori, obținîndu-se în acest fel structura dorită. Electrozii cilindrici, cu diametrul de 10 mm și grosimea de 3 mm, au fost supuși unui proces de activare electrochimică.

Electrozii astfel preparați au fost caracterizați din punct de vedere structural, determinîndu-se porozitatea globală (prin metoda ASTM) și suprafața specifică internă (prin metoda BET) [2], [3]. În tabelul 1 sînt prezentate compoziția și caracteristicile de porozitate ale electrozilor folosiți drept catozi la construirea pilei zinc-oxigen.

În scopul determinării mărimii randamentului electric al pilei zinc-oxigen, aceasta a fost descărcată pe o rezistență variabilă în montajul din figura 2, iar curbele de descărcare $V$—$i$ obținute sînt prezentate în figura 3.

*Tabelul 1*

**Compoziţia şi caracteristicile structurale ale electrozilor de gaz, de tip DSK, folosiţi drept catod în pila zinc-oxigen construită în laborator**

| Electrod | Compoziţia, % | | Porozitatea globală, % | Suprafaţa specifică internă totală, $cm^2/cm^3$ |
|---|---|---|---|---|
| | $Ag_2CO_3$ | $NH_4HCO_3$ | | |
| 1 | 81,25 | 18,75 | 43,45 | 14 100 |
| 2 | 93,75 | 6,25 | 21,13 | 22 900 |

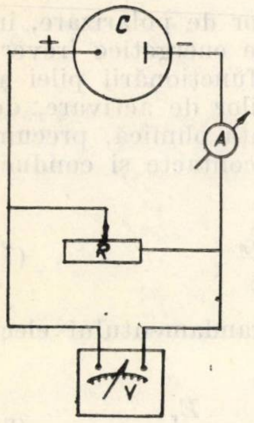



Fig. 2. Schema montajului folosit pentru descărcarea pilei zinc-oxigen :

*C* – celula ; *A* – miliampermetru de clasă 0,5 ; *V* – milivoltmetru electronic Radiometer 22 cu precizie ± 1 mV ; *R* – rezistenţă decadică cu precizie ± 0,1 Ω.

## Randamentul termodinamic al pilei zinc-oxigen

Sursele chimice de curent, de tipul pilelor cu combustibil şi al pilelor metal-aer, pot fi considerate sisteme termodinamice ce lucrează izoterm. În aceste condiţii, randamentul termodinamic maxim al pilei (în condiţii de reversibilitate) poate fi calculat cu ajutorul datelor termodinamice ale reacţiei care stă la baza producerii curentului electric [4], prin relaţia :

$$\eta_T = \frac{\Delta G}{\Delta H} = 1 - \frac{T\Delta S}{\Delta H} \tag{1}$$

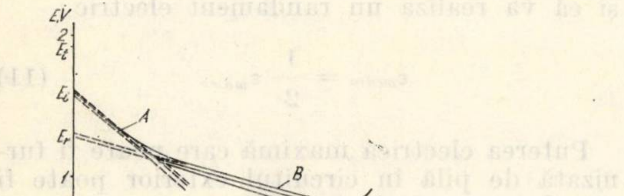



Fig. 3. Curbele de descărcare pe rezistenţă variabilă a pilei zinc-oxigen :

1 – electrod 1, $\Delta P_{O_2}$ = 400 mm Hg ; 2 – electrod 1, $\Delta P_{O_2}$ = 300 mm Hg ; 3 – electrod 2, $\Delta P_{O_2}$ = 400 mm Hg.

în care

$\Delta H$ este variaţia entalpiei ;

$\Delta G$ — variaţia entalpiei libere ;

$\Delta S$ — variaţia de entropie a sistemului la temperatura $T$.

*Tabelul 2*

**Datele termodinamice ale reacţiilor care stau la baza producerii curentului electric în pila zinc-oxigen şi în principalele tipuri de pile cu combustibil şi randamentele termodinamice ale acestora**

| Reacţia din pilă | Δ *H*, j. mol⁻¹ | Δ *G*, j. mol⁻¹ | Randament termodinamic |
|---|---|---|---|
| $Zn + 2KOH + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow K_2ZnO_2 + H_2O$ | − 369 840 | − 311 410 | 0,85 |
| $H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$ (lichid) | − 285 800 | − 237 400 | 0,83 |
| $H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$ (gaz) | − 241 830 | − 228 580 | 0,95 |
| $C + O_2 \rightarrow CO_2$ | − 393 500 | − 394 350 | 1,00 |
| $CO + O_2 \rightarrow CO_2$ | − 283 000 | − 257 300 | 0,91 |
| $C + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO$ | − 110 500 | − 137 080 | 1,24 |
| $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$ (gaz) | − 802 400 | − 800 600 | 1,00 |
| $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$ (lichid) | − 890 200 | − 817 900 | 0,92 |
| $C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$ | −2 044 000 | −2 107 440 | 0,95 |
| $C_4H_{10} + 6\frac{1}{2}O_2 \rightarrow 4CO_2 + 5H_2O$ | −2 878 270 | −2 747 930 | 0,96 |

Ecuaţia (1) arată că, pentru un anumit cuplu combustibil-oxidant şi o anumită temperatură $T$, valoarea randamentului termodinamic maxim realizat în conversia energiei chimice în energie electrică este independentă de tipul maşinii utilizate şi tinde către unitate, atunci cînd $\Delta S$ tinde către zero.

În tabelul 2 sînt prezentate randamentele termodinamice realizate de o pilă zinc-oxigen, în comparaţie cu diferite tipuri de pile cu combustibil, care lucrează la temperatura de 25°C.

După cum se vede din rezultatele prezentate în tabelul 2, pilele cu combustibil şi pilele metal-aer nefiind supuse restricţiilor impuse de ciclul Carnot, randamentele realizate de acestea sînt mult superioare celor obţinute în maşinile termice clasice.

În funcţie de natura reacţiilor chimice care au loc în pile, valoarea randamentului termodinamic poate fi inferioară, egală sau superioară unităţii, după cum numărul de molecule gazoase ale produşilor de reacţie este mai mic, egal sau, respectiv, mai mare decît numărul de molecule gazoase ale reactanţilor. Menţionăm că, în cazul unei pile care utilizează combustibil lichid sau solid şi care lucrează la temperatură normală, sistemul funcţionează

cu consum de căldură din mediul exterior, ceea ce va permite, în cazul realizării practice a unor astfel de surse chimice de curent, obținerea energiei electrice la un preț deosebit de scăzut.

## Randamentul electric al pilei zinc-oxigen

Analiza curbelor de descărcare a pilei zinc-oxigen, prezentate în figura 3, permite să se tragă unele concluzii în ceea ce privește randamentul realizat în conversia energiei chimice în energie electrică.

Pe curbele de descărcare $V-i$ se pot distinge trei zone:

— zona $A$, zona curenților mici, în care curba prezintă o descreștere bruscă și neliniară, tangenta la curbă avînd panta $(-r)$;

— zona $B$, zonă interesantă în exploatare în care curba de descărcare prezintă o descreștere liniară, tangenta la curbă avînd panta egală cu $-R$);

— zona $C$, zonă care nu este interesantă în exploatare, deoarece forța electromotoare a pilei descrește brusc la mărirea curentului.

Pe ordonata din figura 3 se pot distinge următoarele valori ale forței electromotoare:

— forța electromotoare totală, $E_t$, obținută prin însumarea potențialelor de electrod ale anodului și catodului pilei;

— forța electromotoare ideală, $E_i$, ordonata la origine a zonei $A$ a curbelor de polarizare și care se obține cînd intensitatea curentului este egală cu zero;

— forța electromotoare reală, $E_r$, ordonata la origine a zonei $B$ a curbelor de descărcare, forța electromotoare maximă care se poate obține în condițiile reale de exploatare a pilei.

În exploatare, între aceste forțe electromotoare se stabilesc următoarele pierderi:

— pierderea termodinamică, $\Delta E_u = E_t - E_i$, rezultată ca urmare a transformării incomplete a energiei chimice în energie electrică, în condițiile de funcționare a pilei (presiune, temperatură);

— pierderea electrică, $\Delta E_p = E_i - E_r$, rezultată ca urmare a apariției fenomenelor de polarizare în timpul funcționării pilei.

Între datele termodinamice ale reacției care stă la baza producerii curentului electric în pilă și caracteristicile electrice ale acesteia se stabilesc următoarele relații:

$$E_t = -\frac{\Delta H}{zF} \tag{2}$$

$$E_i = -\frac{\Delta G}{zF} \tag{3}$$

$$\Delta E_u = E_t - E_i = \frac{\Delta H - \Delta G}{zF} = \frac{T\Delta S}{zF} \tag{4}$$

Se poate defini un factor termodinamic:

$$\nu = \frac{\Delta E_u}{E_t} \tag{5}$$

cu ajutorul căruia se calculează randamentul termodinamic al pilei:

$$\eta_T = 1 - \nu = \frac{E_i}{E_t} \tag{6}$$

Se poate defini un factor de polarizare, în care sînt incluse pierderile energetice ireversibile ce apar în timpul funcționării pilei și care se datoresc polarizărilor de activare, de concentrație și de rezistență ohmică, precum și pierderilor ohmice din contacte și conductoare:

$$\mu = \frac{\Delta E_p}{E_i} \tag{7}$$

Acesta permite calculul randamentului electric maxim al pilei:

$$\varepsilon_{max} = 1 - \mu = \frac{E_r}{E_i} \tag{8}$$

În aceste condiții, valoarea maximă a curentului debitat de pilă în circuitul exterior este:

$$I_{max} = (1 - \mu)\frac{E_i}{R} \tag{9}$$

În condițiile reale de exploatare se poate considera, cu o bună aproximare, că pila va debita un curent

$$I_{mediu} = \frac{1}{2} I_{max} \tag{10}$$

și că va realiza un randament electric:

$$\varepsilon_{mediu} = \frac{1}{2}\varepsilon_{max} \tag{11}$$

Puterea electrică maximă care poate fi furnizată de pilă în circuitul exterior poate fi calculată cu ajutorul relației:

$$P_{max} = I^2_{mediu} R = \frac{1}{4}(1 - \mu)^2 \frac{E_i^2}{R} \tag{12}$$

Forța electromotoare debitată de pilă este:

$$E = E_t - \Delta E_u - \Delta E_p - RI \tag{13}$$

Se poate defini un coeficient de polarizare

$$\tau = \frac{\Delta E_p}{E_t} \tag{14}$$

Ținînd seama de polarizările ce apar în timpul funcționării, pila va realiza conversia

*Tabelul 3*

**Caracteristicile electrice şi randamentul conversiei energiei chimice în energie electrică realizat de pila zinc-oxigen, în comparaţie cu o pilă cu combustibil de tip hidrogen-oxigen, la temperatura de 25°C**

| Pila | Forţa electromotoare totală $E_t$, V | Pierderea termodinamică $\Delta E_u$, V | Forţa electromotoare ideală $E_i$, V | Forţa electromotoare reală $E_r$, V | Pierderea electrică $\Delta E_p$, V | Factor termodinamic $\upsilon$ | Randament termodinamic $\eta_T$ | Factor de polarizare $\mu$ | Randament electric $\varepsilon$ | Coeficient de polarizare $\tau$ | Randament de conversie maxim $\eta_{max}$ | Randament de conversie real $\eta_{real}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| zinc-oxigen | | | | | | | | | | | | |
| electrod 1 $P_{O_2}$ = 400 mm Hg | 1, 912 | 0,298 | 1,614 | 1,285 | 0,329 | 0,1561 | 0,8439 | 0,2037 | 0,7963 | 0,172 | 0,6719 | 0,3355 |
| $P_{O_2}$ = 300 mm Hg | | | | 1,260 | 0,354 | | | 0,2193 | 0,7807 | 0,185 | 0,6589 | 0,3298 |
| electrod 2 $P_{O_2}$ = 400 mm Hg | | | | 1,250 | 0,364 | | | 0,2225 | 0,7745 | 0,190 | 0,6539 | 0,2943 |
| hidrogen-oxigen | | | | | | | | | | | | |
| cu catalizator de platină | 1,4814 | 0,2522 | 1,2292 | 0,8862 | 0,343 | 0,170 | 0,830 | 0,279 | 0,721 | 0,232 | 0,599 | 0,267 |
| cu catalizator de platină-paladiu 83–17 % | | | | 0,8802 | 0,449 | | | 0,365 | 0,635 | 0,303 | 0,527 | 0,254 |

energiei chimice în energie electrică cu un randament real :

$$\eta_{real} = \frac{E}{E_i} = 1 - \nu - \tau \frac{RI}{E_i} \quad (15)$$

care are valoarea maximă

$$\eta_{max} = 1 - \nu - \tau = (1 - \nu)(1 - \mu) \quad (16)$$

atunci cînd intensitatea curentului produs este minimă.

Randamentul realizat în conversia energiei de o pilă cu combustibil sau cu o pilă metal-aer este egal cu produsul dintre randamentul termodinamic al reacţiei care stă la baza producerii curentului şi randamentul electric al pilei, în condiţiile date de funcţionare.

În tabelul 3 sînt prezentate caracteristicile electrice şi randamentele realizate în conversia energiei de către pila zinc-oxigen construită de autori, în comparaţie cu o pilă cu combustibil de tip hidrogen-oxigen construită de Gilvarry şi Slaughter [5].

**Stabilirea regimului optim de funcţionare a pilei zinc-oxigen, puterea maximă debitată în circuitul exterior**

Scăderea performanţelor pilei – efect al polarizărilor ce apar în timpul funcţionării – se manifestă prin obţinerea în circuitul exterior a unui curent redus cu un factor :

$$i = \frac{R}{E_i} I, \quad (17)$$

în care $I$ este $I_{max}$ din ecuaţia (9), în cazul în care $\mu = 0$. Acestui factor de reducere a curentului îi corespunde un factor de reducere a puterii :

$$p = \frac{4R}{E_i^2} P \quad (18)$$

în care $P$ este $P_{max}$ din ecuaţia (12); atunci cînd $\mu = 0$.

Între factorii $p$ şi $i$ există relaţia :

$$p = 4i(1 - \mu - i) \quad (19)$$

care arată că $p$ este o funcţie parabolică de $i$.

În figura 4 este reprezentată grafic variaţia factorului de reducere a puterii în funcţie de

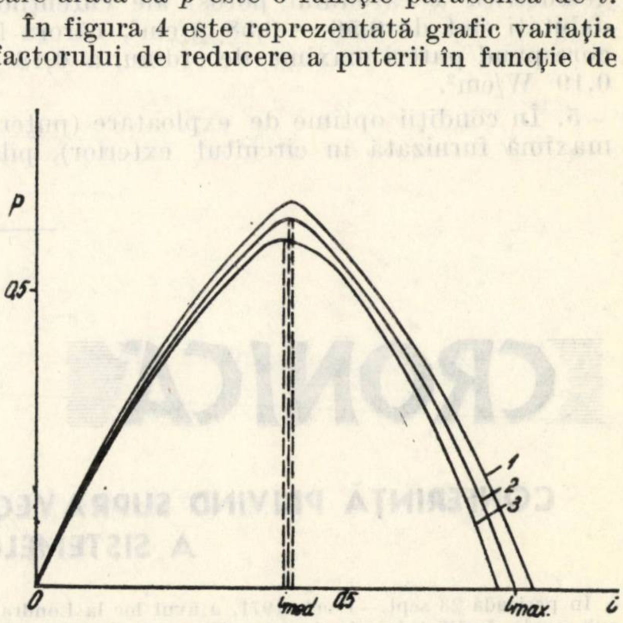



Fig. 4. Reprezentarea grafică a funcţiei parabolice $p = f(i)$ pentru pila zinc-oxigen (notaţiile au aceleaşi semnificaţii ca în figura 3).

factorul de reducere a curentului, în cazul pilei zinc-oxigen construită în laborator. Se observă că valoarea minimă a factorului de putere ($p = 0$) se înregistrează la valorile $i = 0$ şi $i_{max} = 1 - \mu$. Valoarea maximă a factorului de putere ($p_{max}$), corespunzător debitării de către pilă a unei puteri maxime în circuitul exterior este :

$$p_{max} = (1 - \mu)^2, \quad (20)$$

căruia îi corespunde un

$$i_{mediu} = \frac{1}{2}(1 - \mu) = \frac{1}{2} i_{max}. \quad (21)$$

În condiţii optime de funcţionare — debitarea unei puteri maxime în circuitul exterior — pila zinc-oxigen construită de autori are o forţă electromotoare de 0,63—0,65 V, furnizează un curent de 0,28—0,30 A/cm² (raportat la suprafaţa geometrică a catodului poros) şi realizează conversia energiei chimice în energie electrică cu un randament real de 30—34%.

**Concluzii**

1. Randamentul termodinamic al pilei zinc-oxigen cu catod poros de tip DSK construită în laborator este de 84,39%.

2. Randamentul electric maxim al pilei este de 77 — 80%, în funcţie de porozitatea globală a catodului poros şi de suprapresiunea de alimentare a oxigenului.

3. Randamentul maxim al conversiei energiei chimice în energie electrică este cuprins între 66 şi 67%.

4. Valorile maxime (raportate la suprafaţa geometrică a catodului poros) ale curenţilor debitaţi sînt de 0,56 — 0,58 A/cm², cărora le corespund puteri maxime de ordinul a 0,18—0,19 W/cm².

5. În condiţii optime de exploatare (putere maximă furnizată în circuitul exterior), pila zinc-oxigen are o forţă electromotoare de 0,63—0,65 V, furnizează curenţi de 0,28—0,30 A/cm² şi realizează conversia energiei chimice in energie electrică cu un randament de 30—34%.

6. Randamentul ridicat de conversie a energiei chimice în energie electrică realizat de pila zinc-oxigen construită în laborator este comparabil cu datele din literatura de specialitate pentru pilele cu combustibil şi este superior randamentului de conversie a energiei realizat în sursele clasice de curent.


**Bibliografie**

[1] Mavrodin-Tărăbîc, M., Onaca, I. şi Solacolu, I. *Pilele de combustie — surse moderne de energie electrică.* În: Energetica, nr. 7, 1972.

[2] Brunauer, S. şi Emmett, P. H. *Determination of the Surface Area of Adsorbents.* În: Journal of the American Chemical Society, *59*, nr. 12, 1937, p. 2682—2689.

[3] Brunauer, S. şi Emmett, P. H. *Adsorption of Gases in Multimolecular Layers.* În: Journal of the American Chemical Society, *60*, nr. 2, 1938, p. 309—319.

[4] Eisenberg, M. *Physical Chemistry,* vol IX B, *Electrochemistry.* Academic Press, New York, 1970, p. 777.

[5] Gilvarry, J. J. şi Slaughter, J. I. *Equivalent Circuits and Efficiencies in Fuel Cells.* În: Electrochimica Acta, *8*, nr. 6, 1963, p. 711—715.



**(Articol intrat în redacţie la 21 martie 1972)**


# CRONICA

## CONFERINŢĂ PRIVIND SUPRAVEGHEREA ŞI COMANDA CENTRALIZATĂ A SISTEMELOR ENERGETICE *)

În perioada 28 sept.—1 oct. 1971, a avut loc la Londra, sub egida Institutului de Ingineri Electricieni (IEE) din Marea Britanie o conferinţă cu participare internaţională privind supravegherea şi comanda centralizată a sistemelor energetice.

Lucrările conferinţei cuprind un număr de 35 de comunicări dintre care menţionăm:

*P. Nemetz (BBC) — ,,Reglajul frecvenţă-putere, repartiţia economică a sarcinii şi siguranţa funcţionării sistemelor interconectate''*

Sint examinate tendinţele pe plan mondial în realizarea funcţiunilor de reglaj frecvenţă-putere, repartiţie economică şi siguranţă în funcţionare.

Este prezentată o schemă-bloc a unui ,,pachet'' de programe care, în afara funcţiunilor de mai sus, realizează şi funcţiunile de supraveghere a parametrilor de funcţionare şi vizualizarea corespunzătoare a informaţiilor necesare dispecerului pentru comanda operativă a sistemului energetic.

*E. Holz şi M. Dousse (Landis & Gyr) — ,,Alegerea sistemului de supraveghere şi reglaj''*

Sint examinate intervalele admisibile de timp pentru realizarea funcţiunilor de înregistrare a evenimentelor, protecţie, reglaj, telecomandă, telemăsură etc. Sint de asemenea examinate problemele legate de siguranţa transmisiei, priorităţi ale transmisiilor, supravegherea schimburilor de energie între sisteme etc.

*D. Rumpel (Siemens) — ,,Echipamente pentru automatizarea reţelelor''*

Se menţionează situaţia sistemelor energetice din R. F. a Germaniei în ceea ce priveşte introducerea calculatoarelor electronice de proces în comanda prin dispecer a sistemelor energetice (cinci calculatoare în funcţiune şi douăsprezece în curs de instalare).

Deosebit de interesantă este analiza economică a oportunităţii introducerii diverselor tipuri de echipamente în dotarea tehnică a comenzii prin dispecer.

*) IEE Conference Publication Number 81. Centralised Control Systems, C. Baldwin Ltd., 1971, 206 pag.

*Imtiaz Ali Qazilbash (West Pakistan Water and Power Development Autority) — ,,Un sistem de supraveghere centralizat al funcționării sistemului energetic din Pakistan''*

Comunicarea relevă problemele energetice și ale comenzii prin dispecer într-o țară în curs de dezvoltare. Sînt punctate principalele elemente ale concepției noului punct de comandă prin dispecer. Deosebit de interesante apar problemele legate de formarea și reciclarea personalului de exploatare.

*J. W. Dillow, M. Fleming ș.a. (C.E.G.B.) — ,,Sistemul numeric de telemăsură și telesemnalizare MARK-II''*

Sînt descrise sistemul de telemecanică utilizat în cadrul sistemului energetic din Marea Britanie, structura blocurilor de date transmise, caracteristicile emițătorului și receptorului. O atenție deosebită este acordată problemelor de siguranță în funcționare și modului de rezervare a echipamentelor.

*M. J. Hawke și B. Lowe (Ferranti) — ,,Un sistem de supraveghere și reglaj cu utilizarea perifericelor de vizualizare grafică''*

Comunicarea tratează problema utilizării perifericelor de vizualizare cu tuburi catodice în comanda prin dispecer și mutațiile pe care aceste dispozitive le-au efectuat în relațiile operator-calculator. Ca aplicație este considerat sistemul duplex de calculatoare ARGUS-500 instalat la Dispecerul Central — CEGB. Considerații interesante se fac în privința fiabilității și suportului de programare al sistemului.

*G.A.L. van Hock (SEP — Arnhem — Olanda) — ,,Camera de comandă a Dispecerului Național — SEP — Olanda''.*

Este descrisă evoluția sistemului energetic și a comenzii sale prin dispecer în Olanda. Sînt descrise funcțiunile comenzii prin dispecer, printre care trebuie menționate și acelea de telecomandă a aparatajului rețelei de 380 kV. Sînt prezentate principalele elemente ale camerei de comandă și concepția de proiectare a acesteia. Este de menționat lipsa perifericelor de vizualizare cu tuburi catodice.

*V. Saminden, J. F. Anciaux și M .Nicol — ,,Comanda sistemului electroenergetic''*

Comunicarea prezintă dezvoltarea tehnicii comenzii prin dispecer a sistemului Electricité de France și dotarea acesteia cu calculatoare electronice.

*D.W.E. Crook și J. H. Harris (CEGB) — ,,Utilizarea calculatoarelor ,,on-line'' pentru asigurarea vizualizării pe tuburi catodice și asistență de calcul la camera de comandă a Dispecerului Național CEGB''.*

După o prezentare generală a sistemului energetic CEGB sînt enumerate principalele funcțiuni ale comenzii prin dispecer și volumul de informații de telemăsură și telesemnalizare, sînt descrise echipamentele de colectare, transmitere, prelucrare și vizualizare a informațiilor și suportul de programare aferent funcțiilor de colectare, validare a datelor, alarmare, protocolare și calcul al siguranței de funcționare.

Deosebit de interesante sînt observațiile efectuate privind adaptarea personalului de tură la noile condiții de lucru, experiența obținută în exploatarea echipamentelor de calcul și a suportului de programare.

Prin bogatul material cuprins și interesantele comunicări prezentate, dintre care nu s-au putut reda decît o mică parte, conferința IEE reprezintă un îndreptar prețios pentru personalul de cercetare, proiectare și exploatare din țara noastră, preocupat de dezvoltarea tehnicii comenzii prin dispecer a sistemului energetic național.

Dr. ing. Al. Petroianu

# Recenzii

V. I. NITU, E. CONSTANTINESCU, C. NEGREANU, P. RAȘCU, B. STOLERU, M. VINTILESCU, D. VOINEA **Instalațiile electrice ale centralelor și stațiilor.** Editura tehnică, București, 1972

Un eveniment tehnic deosebit îl constituie apariția în Editura tehnică a cărții : ,,Instalațiile electrice ale centralelor și stațiilor'' sub coordonarea prof. dr. ing. V. I. Nitu.

Cartea, alături de : ,,Calculul și proiectarea sistemelor electroenergetice'', apărută anterior, sintetizează și prezintă — așa cum remarcă ing. O. Groza, ministrul energiei electrice, în cuvîntul înainte al lucrării — o experiență de peste douăzeci de ani în domeniul studiului sistemului energetic și al calculului instalațiilor electrice ale acestuia.

Lucrarea cuprinde — în 40, 50 coli de tipar și cinci planșe — șapte capitole, opt anexe și o extrem de bogată bibliografie, conținînd 262 de titluri de lucrări în domeniu.

Ea își propune prezentarea sistematizată și unitară a ansamblului problemelor specifice instalațiilor electrice din centrale și stații.

Elaborată de un colectiv cu o bogată experiență în proiectare, lucrarea se adresează în primul rînd inginerilor care proiectează partea electrică a centralelor și stațiilor, dar, prin nivelul științific ridicat, expunerea extrem de clară, exemplele concrete prezentate atît din experiența de proiectare a Institutului de studii și proiectări energetice, cît și a practicii din țări cu energetică avansată, ea este utilă unui cerc larg de specialiști din domeniul exploatării și execuției obiectivelor energetice și studenților din ultimii ani ai institutelor de învățămînt superior în specialitate.

Așa cum precizează autorii în prefața lucrării, ținînd seama de literatura tehnică românească apărută în ultimii ani, unele capitole care țin evident de partea electrică a centralelor și stațiilor, cum ar fi instalațiile de protecție prin relee și automatizări electrice și altele, nu au fost cuprinse de loc în carte sau au fost amintite lapidar. Prin acest mod de prezentare s-a urmărit să nu se mărească prea mult volumul lucrării.

Capitolul 1, intitulat : ,,Considerații generale privind proiectarea centralelor și stațiilor electrice'', prezintă un scurt istoric al dezvoltării energetice în România, de la primele începuturi ale introducerii energiei electrice (la sfîrșitul secolului trecut) și pînă în zilele noastre.

Dezvoltarea energeticii este prezentată în cele două mari etape care o caracterizează — pînă la 23 august 1944 — cînd se înregistra o dezvoltare lentă și inegală și — după 23 august 1944 — etapa dezvoltării vertiginoase, pe bază de planificare cu ritmuri înalte de creștere.

În continuare se prezintă concepția de studiu și principalele direcții de dezvoltare a sistemului energetic național și a instalațiilor componente, criteriile tehnico-economice în alegerea variantelor de profil și amplasare a instalațiilor electrice, insistîndu-se asupra indicatorilor de eficiență relativă și absolută a acestora, precum și dinamica indicatorilor valorici naturali ai instalațiilor energetice. Capitolul se încheie cu prezentarea criteriilor de determinare a puterii și numărului de grupuri ale centralelor electrice și stațiilor de transformare.

Capitolul arată importanța calculelor tehnico-economice de optimizare în funcție de parametrul fundamental al instalației, atît la stabilirea profilului și alegerea amplasamentului, cît și la alegerea schemelor tehnologice.

Capitolul al doilea se ocupă de alegerea schemelor electrice de conexiuni, atît la stații de transformare, cît și în centralele electrice. În acest capitol, care singur ar putea reprezenta o lucrare independentă, se insistă asupra criteriilor generale, tehnice și economice care trebuie avute în vedere în alegerea schemelor electrice de conexiuni.

Merită a fi menționat în mod special paragraful 2. 7, care se ocupă cu siguranța în funcționare a schemelor, prezentînd o metodologie de calcul a eficienței economice, care ține seama și de cheltuielile determinate de măsuri suplimentare pentru mărirea siguranței, compuse din investiții și cheltuieli de exploatare necesare pentru atingerea siguranței dorite. Autorii atrag atenția, în acest capitol, asupra consecințelor pe care le are menținerea în funcțiune a unor echipamente și aparataje care au atins un anumit grad de uzură, asupra siguranței în funcționare a ansamblului și cheltuielile suplimentare necesare pentru întreținerea unui astfel de echipament.

Aceste aspecte, demonstrate în carte cu cifre concrete, din păcate sînt însă insuficient luate în considerare în sistemul energetic național.

Analiza schemelor electrice de conexiuni folosite în centrale și stații electrice, prezentată în paragraful 2.2, permite prin sistematizarea sub formă de tabele, figuri și curbe de calcul, o ușoară urmărire, putînd servi ca îndreptar în cazurile concrete de care se lovește orice proiectant în specialitate.

Aceeași remarcă trebuie făcută și asupra paragrafelor 2.3 și 2.4, care tratează schemele electrice de conexiuni pentru servicii proprii. Aici se apelează la un foarte vast material bibliografic, prezentîndu-se cele mai reprezentative soluții realizate în țară și pe plan mondial.

Deși autorii afirmă că lucrarea se bazează pe experiența trecută, lucrarea are în permanență în față perspectiva energeticii noastre, analizînd tendințele de dezvoltare și insistînd asupra noului, chiar dacă acesta este la noi încă la început. În acest sens trebuie remarcată grija autorilor pentru prezentarea problemelor legate de dezvoltarea energeticii nucleare, care este în prezent (să spunem) încă pe planșetele proiectanților, dar care foarte curînd își va lua locul în marea familie a centralelor electrice din țară.

Capitolul al treilea este consacrat echipamentului electric și alegerii lui. Acuratețea și claritatea acestui capitol, atît de necesar oricărui inginer electroenergetician, permit folosirea lui în activitatea de proiectare și verificare a instalațiilor în exploatare. Paragrafele acestui capitol, grupate într-o succesiune logică a procesului de proiectare, atrag atenția cititorului asupra unor aspecte care de multe ori sînt trecute cu vederea sau chiar nu sînt luate în considerare. De exemplu, la paragraful 3.3.2 se atrage atenția asupra unui criteriu care se impune din ce în ce mai insistent în alegerea întreruptoarelor de înaltă tensiune — zgomotul în timpul manevrării — ș.a.

Capitolul al patrulea prezintă soluții constructive pentru instalațiile de înaltă tensiune. În cadrul acestui capitol se subordonează soluțiile prezentate unor criterii generale, cărora trebuie să le corespundă instalațiile, și anume: siguranța în funcționare, securitatea personalului care deservește instalațiile și economicitatea soluției.

Pornind de la aceste criterii, autorii prezintă cele mai reprezentative realizări din țară și din străinătate, analizînd în ce măsură sînt respectate la soluțiile respective condițiile enunțate mai sus.

Din studierea acestui capitol se desprinde clar preocuparea proiectanților din țară de a realiza instalații cu siguranță corespunzătoare în funcționare, care permit o exploatare în condiții de securitate a personalului și care au la bază un calcul tehnico-economic ce justifică economicitatea soluției.

Soluțiile originale, prezentate pe baza realizărilor concrete din țară (proiecte ale ISPE), se înscriu la nivelul celor mai reprezentative instalații similare din alte țări. Sînt de menționat, în acest sens, atît suplețea instalațiilor exterioare realizate cu elemente de construcție din beton armat, cît și instalațiile compacte de 110 kV de tip interior, realizate în România.

Capitolul se încheie cu o prezentare a tendinței moderne de utilizare a hexafluorurii de sulf ca mediu izolant și de stingere în instalații de înaltă și foarte înaltă tensiune.

Capitolul 5 se ocupă de circuitele secundare și camerele de comandă.

Așa cum s-a arătat, capitolul nu dezvoltă automatizările electrice sau protecția prin relee, care prin excelență reprezintă circuitele secundare ale centralelor și stațiilor electrice, ci analizează gradul de automatizare necesar instalațiilor, gradul de centralizare, numărul camerelor de comandă, precum și principiile de realizare a circuitelor secundare din centrale și stații.

În capitol se dezbate problema utilizării curenților slabi sau curenților tari în circuitele secundare, precum și alegerea comutației electromecanice sau statice. Tot în capitolul cinci sînt trecute în revistă problemele de dispoziție la camerele de comandă a aparatajului și materialelor folosite, precum și sistemele de susținere ale acestora.

În acest capitol se prezintă modul de realizare a circuitelor secundare și a camerelor de comandă din țară, indicîndu-se și echipamentul modern asimilat recent în fabricație de industria noastră constructoare de mașini.

Capitolul 6 se ocupă de așa-numitele instalații auxiliare ale centralelor și stațiilor, care au importanță în funcționarea sigură a acestora. Astfel, se prezintă problemele delicate legate de instalațiile de curent continuu, instalațiile de legare la pămînt, instalațiile de aer comprimat și ansamblul instalațiilor de telecomunicații.

Capitolul insistă asupra soluțiilor moderne adoptate în proiectarea acestor instalații la noi în țară.

Ultimul capitol al cărții (cap. 7) tratează problemele majore ale alegerii amplasamentelor și amenajarea generală a terenului obiectivelor electroenergetice, precum și problemele de circulație pe teritoriul acestora.

În sfîrșit, cele opt anexe prezintă date utile proiectanților în cursul activității.

Studierea cărții permite cititorului să se familiarizeze cu cele mai importante probleme ale proiectării instalațiilor electrice din centrale și stații, dîndu-i o orientare spre o proiectare fundamentată pe o experiență de peste 20 de ani a Institutului de studii și proiectări energetice și pe compararea acesteia cu experiența mondială în acest domeniu.

Stilul cărții, exprimarea riguros tehnică, claritatea tabelelor și bogatul material grafic sînt elemente care ridică valoarea lucrării.

Cu siguranță este și meritul coordonatorului lucrării, prof. dr. ing. V. I. Nitu, directorul Institutului de studii și proiectări energetice, care, prin experiența vastă de proiectare pe care o are, a știut să dozeze extinderea capitolelor și să le grupeze într-un tot unitar, contribuind prin această carte, cu un conținut atît de bogat și util cadrelor de ingineri proiectanți de instalații electroenergetice, la îndrumarea unei noi generații de proiectanți pe drumul unei proiectări mai fructuoase pentru electrificarea țării.

**Dr. ing. D. Mark**

# Informații tehnice

**Noutăți de la firma Bayer-Leverkusen**

1. *Schimbătorii de ioni macroporoși Lewatit asigură necesarul de apă pe timp de secetă mare*

Uscăciunea continuă din prima parte a anului 1972 a făcut ca problema aprovizionării cu apă să fie din nou la ordinea zilei atît în R.F. a Germaniei cît și în alte țări cu nivel industrial ridicat.

Anii 1959 și 1971 aduseseră perioade asemănătoare, de secetă extremă, cînd numeroase instalații pentru tratarea apei, echipate cu schimbători de ioni, au încetat să funcționeze. Din cauza debitului scăzut al apelor naturale oglinda apei a coborît la mică distanță de patul albiei, așa încît conținutul impurităților din apă, în special cel al substanțelor organice, ca acizii humici și detergenții, a crescut considerabil.

Această situație îngrijorătoare a determinat în 1959 echiparea unor instalații industriale cu noile tipuri de schimbători de ioni Lewatit veritabili macroporoși, de tipul R, inventați de cercetători din cadrul firmei Bayer-Leverkusen. Ca urmare, perioada de secetă din anul 1971 a fost mult mai ușor suportată.

De atunci echiparea instalațiilor industriale pentru demineralizarea apei, în centrale termoelectrice și în alte industrii, cu schimbători de ioni macroporoși, a cunoscut o largă extindere.

Caracteristica principală a acestui tip de schimbători de ioni, de a reține cantități mari de impurități organice, în special din apă, poate fi demonstrată și prin măsurători practice, dovedind justețea utilizării lor.

Se recomandă verificarea la timp a schimbătorilor de ioni din instalații, astfel încît să fie prevăzuți cei mai adecvați.

Firma Bayer studiază îmbunătățirea în continuare a procedeelor de tratare a apei prin dezvoltarea unor noi tipuri de schimbători de ioni macroporoși. Cei interesați pot obține informații prin poștă — nr. OC/I 1411 și 1544.

*(Bayer Presse Information, mai 1972 hy/l t) (37)*

2. *Tehnica schimbului ionic devine rentabilă prin utilizarea procedeelor cu Lewatit în pat suspensional.*

Dezvoltarea procedeelor de tratare cu schimbători Lewatit de tip R, în suspensie, a permis elaborarea unei tehnici foarte simple, în special pentru exploatarea economică a instalațiilor de schimbători de ioni și a filtrelor de adsorbție. Avantajele sînt următoarele:

— O veritabilă funcționare în contracurent, cu toate caracteristicile de calitate ale acestei metode, și în special un contact intim în vederea schimbului ionic, și consumuri specifice de regenerant îmbunătățite.

— Un sistem foarte simplu, fără părți mobile. Toate pozițiile de funcționare pot fi ușor automatizate sau manevrate chiar de lucrători necalificați.

— O construcție compactă, deoarece nu este necesar spațiu liber pentru afînare deasupra schimbătorului de ioni, și realizarea unei demineralizări înaintate numai cu un filtru cationic și unul anionic.

— Volum mic de ape uzate cu conținut redus de săruri, ca urmare a cantităților mici de regenerant și în special datorită unui necesar redus de apă de spălare.

— Pierderi mici de presiune, deoarece numai o parte din rășina schimbătoare de ioni se află sub formă de strat compact. Restul rășinii lucrează ca pat suspensional.

— Instalațiile obișnuite pot fi modificate după noua tehnică.

Utilizarea schimbătorilor de ioni Lewatit de calitate specială, însemnați cu indicativul WS, sau a tipurilor HL, în cazul unor cereri mai pretențioase de încărcare specifică și rezistență, garantează o funcționare sigură și economică în cadrul procedeelor cu schimbători Lewatit în suspensie.

Cei interesați pot cere informații detaliate sub titlul „Procedee cu Lewatit în pat suspensional" poștal sub nr. OC/I 20, 320.

*(Bayer Presse Information, aprilie 1972, hy/l t) (31)*

3. *Bayer la expoziția „Rubberes '72" de la Brighton. Produse noi din cauciuc și aplicații interesante*

Rezultatele cercetărilor efectuate de firma Bayer în ultimii zece ani s-au reflectat la expoziția „Rubberes '72" (15—19 mai) în numeroase produse chimice pe bază de cauciuc și, de asemenea, în modurile noi de utilizare în practică a cauciucului sintetic de diferite tipuri și a elastomerilor pe bază de poliuretan.

*Produsele HS, OCD, DS, NKF, AFD, ADC/K* sînt materiale diferite, utilizate ca mijloace de protecție împotriva îmbătrînirii la temperaturi înalte, în atmosferă de ozon etc.

Din tipurile de cauciuc sintetic Bayer utilizate în practică fac parte:

*Cauciucul ușor Baypren* cu care se acoperă rezervoarele metalice ale navelor petroliere. În acest mod a fost protejată împotriva coroziunii „Matarenghi", cea mai mare navă din lume pentru transportat acid.

Cloroprencauciucul Baypren a fost indicat ca bandă de etanșare a rosturilor la podul de pe Rin la Ludwigshafen.

*Piese de metal-cauciuc și garnituri din Baypren* au fost fabricate pentru acoperișul transparent al stadionului olimpic din München.

*Nitrilcauciucul Perbunan N*, rezistent la ulei, a fost utilizat la fabricarea garniturilor și a furtunului de înaltă presiune.

*Pe bază de Baypren-Latex și Perbunan N-Latex* a fost fabricată în Anglia pielea sintetică, iar pe bază de Baypren-Latex părul de cauciuc, greu inflamabil etc.

*(Bayer Presse Information, mai 1972 hy/l t) (37)*

# Tehnica pentru verificarea şi repararea cablurilor

–repararea cablurilor
–căutarea preventivă a defectelor la cabluri
–arderea cablului
–controlul final al defectelor constatate la cabluri
încercarea cablului

**— automobil cu instalaţie completă pentru detectarea defectelor la cabluri (laborator mobil)**
**— controlul şi măsurarea tensiunii înalte**
**— aparate pentru detectarea locurilor defecte la conducte şi cabluri**

SEBA–DYNATRONIC D-8601 Baunach/R.F.G.

**TÎRGUL INTERNAŢIONAL BUCUREŞTI**
**15–24 octombrie 1972,**
**Pavilionul Republicii Federale a Germaniei – teren în aer liber**



**Revista „ENERGETICA” – organ al Ministerului Energiei Electrice şi al Consiliului Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor din R.S. România (CNIT). Redacţia: Bucureşti, str. Galaţi nr. 5–7, Sectorul II, Tel. 13 66 83, 13 00 53. Instituţiile pot achita abonamente pentru biblioteci şi cabinete tehnice în contul nostru de virament nr. 30.01 01.00 B.N.R.S.R. – Sectorul VI. Tarif pentru întreprinderi lei 100 anual. Tarif pentru muncitori, tehnicieni şi ingineri lei 30 anual. Preţul unui exemplar lei 5**

Taxele poştale plătite în numerar conform aprobării D.G.P.T. nr. 10.1095, 1967

I.P.I. c. 1689

REZISTOARE
— cu peliculă de carbon
— bobinate

TERMISTOARE
— ceramice

CONDENSATOARE
— polistiren (tip styroflex)
— poliester metalizat
— hîrtie metalizată
— hîrtie echipament auto
— hîrtie antiparazitare
— hîrtie pentru telefonie

CONDENSATOARE ELECTROLITICE
— normale
— miniatură
— nepolarizate

# I.P.R.S. Băneasa

**produce:**

CONDENSATOARE CERAMICE
— disc
— tubulare
— plachetă
— ajustabile

CABLAJE IMPRIMATE

TRANZISTOARE
— de joasă frecvență
— de înaltă frecvență și comutație
— de putere

DIODE
— de semnal și comutație
— redresoare
— redresoare pentru curenți mari
— stabilizatoare de tensiune
— de putere cu siliciu

CIRCUITE INTEGRATE

**ÎNTREPRINDEREA DE PIESE RADIO ȘI SEMICONDUCTORI**
**BĂNEASA**

Str. Erou Iancu Nicolae nr. 32, BUCUREȘTI II — ROMÂNIA
Telefon 33.38.30 Telex 011.203 Serv. Desfacere 33.53.17

# IRE SIBIU

Str.Uzinei nr.7,telefon 14850

PROIECTEAZA:

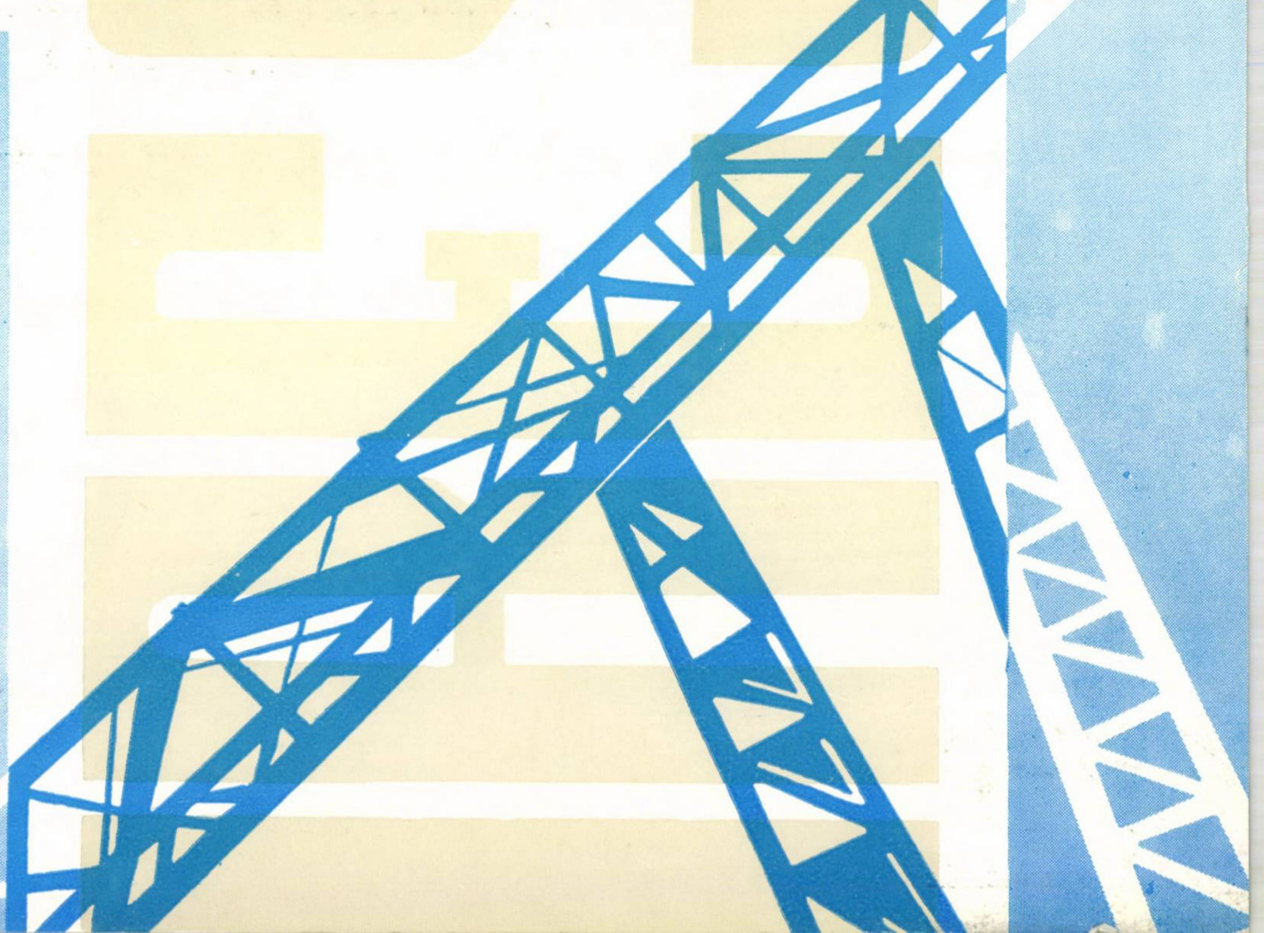
- posturi şi staţii de transformare
- linii electrice aeriene şi subterane de transport şi distribuţie
- instalaţii de iluminat exterior
- automatizări şi modernizări în instalaţii electrice

CONSTRUIESTE:

- linii electrice aeriene şi subterane de joasă tensiune
- linii electrice de medie tensiune şi posturi de transformare pentru electrificări rurale

EXECUTA:

- branşamente şi instalaţii electrice interioare de lumină şi forţă

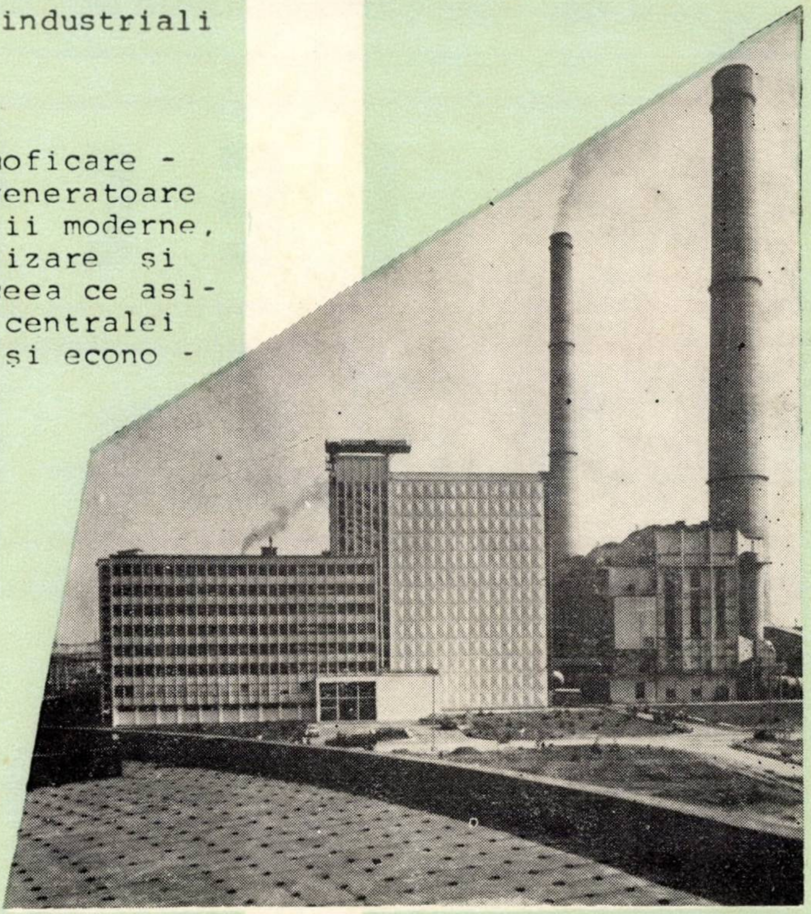



# I.E.C. CRAIOVA

Produce şi furnizează prin instalaţiile sale, în condiţii de siguranţă şi calitate:

- energie electrică, sistemului electroenergetic naţional şi consumatorilor de energie electrică din zonă;
- căldură, consumatorilor industriali din zonă.

Centrala Electrică de Termoficare - Craiova dispune de grupuri generatoare de mare putere şi de instalaţii moderne, cu un înalt grad de automecanizare şi de concentrare a comenzilor, ceea ce asigură funcţionarea continuă a centralei în perfecte condiţii tehnice şi economice.

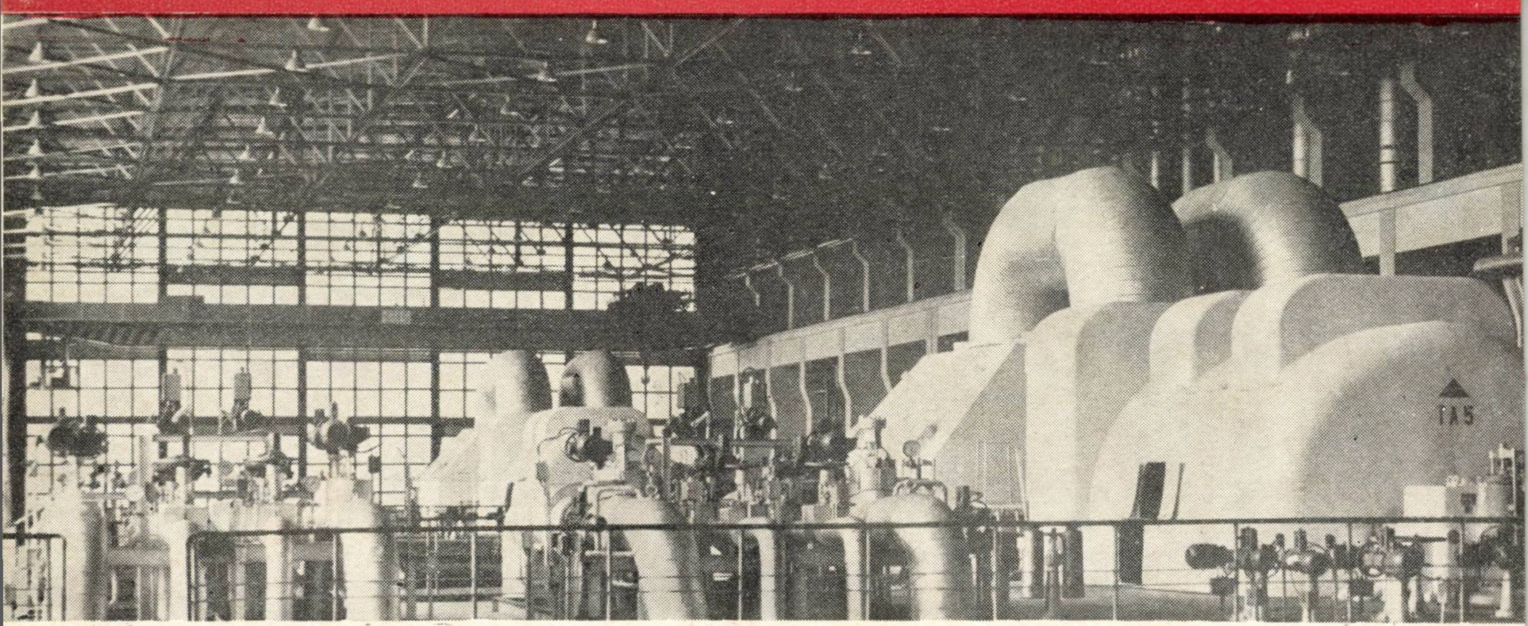


Cenuşa livrată de centrală se poate utiliza de fabricile de ciment la elaborarea betonului celular autoclavizat, din care se realizează cărămizi uşoare, panouri mari pentru hale industriale, stîlpi uşori, izolaţii termice hidrofuge şi fonice, precum şi alte produse necesare industriei construcţiilor şi materialelor de construcţii

ÎNTREPRINDEREA ELECTROCENTRALE CRAIOVA

Căsuţa poştală nr. 39 jud. Dolj

ORSZ. KÖNYVTÁRES ... KÖZPONT 1983



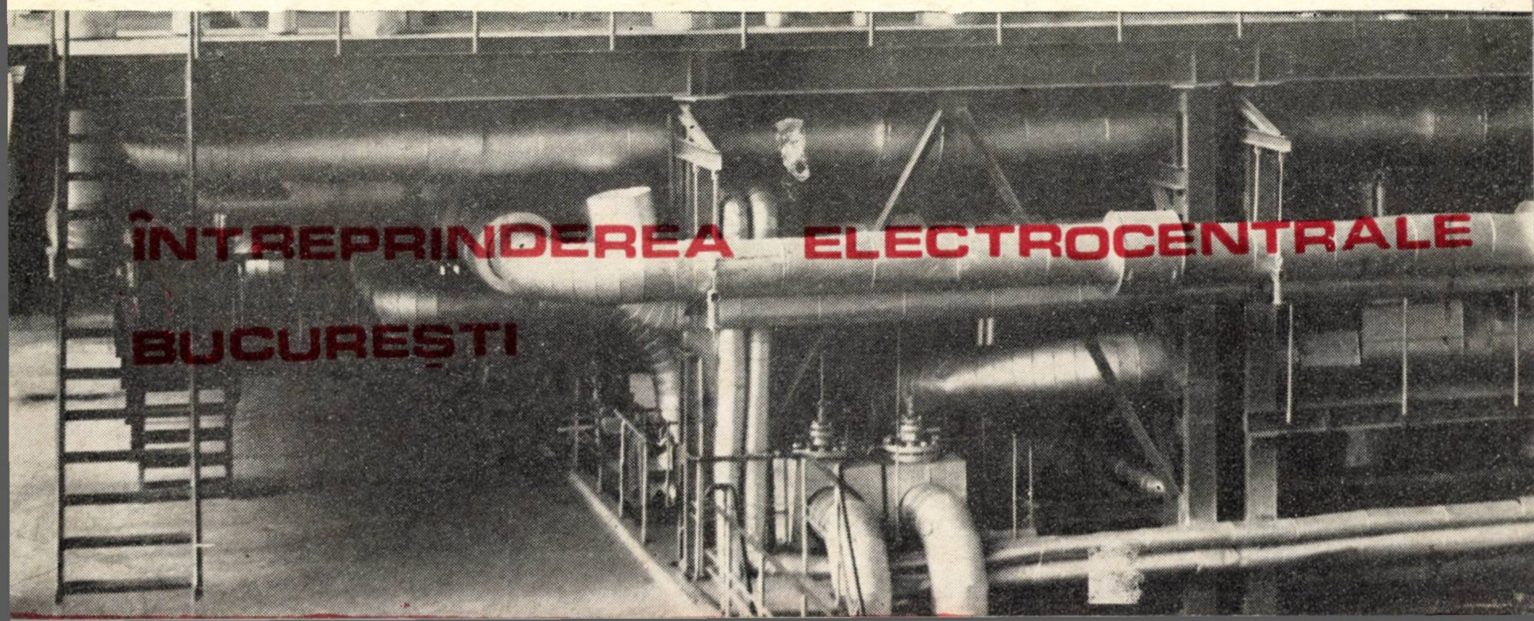
# IEC BUCUREȘTI

Sector 7, Splaiul Independenței nr.229

tel.: 13.08.39

Prin instalațiile sale de producere combinată sau separată a energiei electrice și termice, asigură furnizarea căldurii la calitatea cerută și cu un înalt grad de siguranță, noilor cartiere de locuințe și noilor platforme industriale, însumînd un consum total de peste 2 400 Gcal/h.

Furnizează energie electrică, la parametrii nominali sistemului energetic național și consumatorilor din capitală, cu capacități totalizînd peste 600 MW, prin stații electrice de 5 kV, 10 kV, 30 kV, 110 kV, 220 kV și 400 kV.



# IRE * IAȘI

**Proiectează, execută și exploatează:**

- posturi și stații de transformare;
- linii electrice aeriene și subterane de transport și distribuție;
- instalații de iluminat exterior;
- instalații electrice interioare;

Asigură buna deservire a consumatorilor de energie electrică din sectorul industrial, agricol și casnic din regiune;

Efectuează încercări profilactice la aparatajul electric și verificări de protecții prin relee.

**întreprinderea de rețele electrice IAȘI**

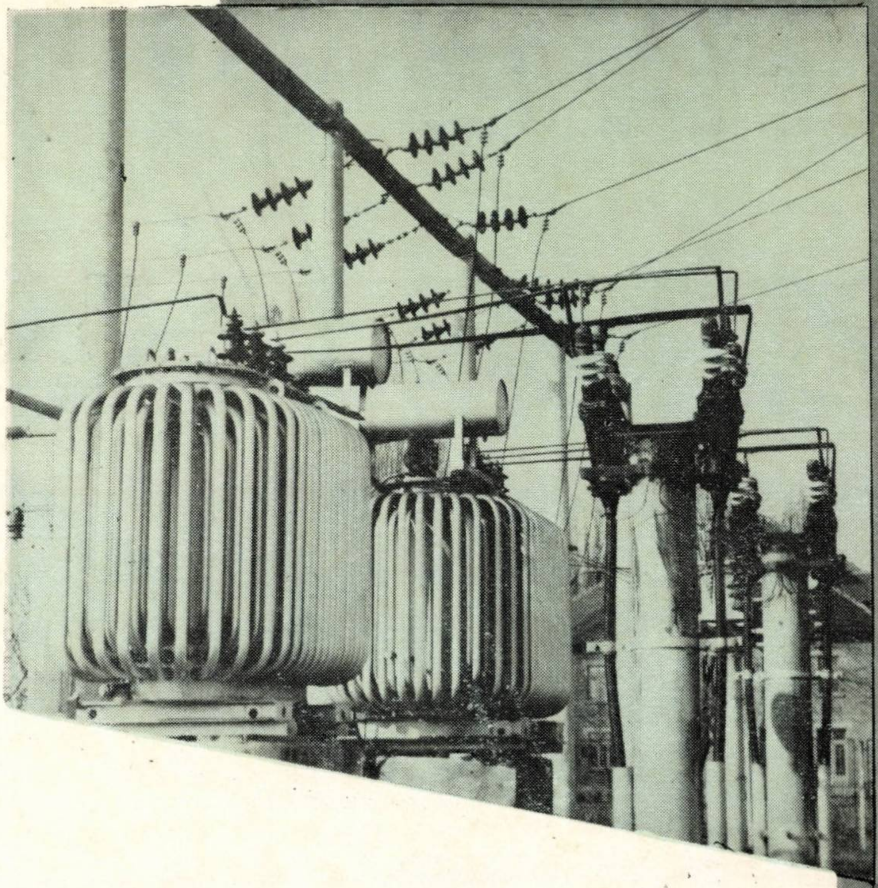
str. Uzinei nr. 38

. asigură o bună deservire a consumatorilor din sectorul industrial, agricol, de transporturi şi casnic din zonă

. execută reţele şi posturi de medie tensiune, branşamente şi instalaţii interioare în mediul urban şi rural

. proiectează reţele, posturi şi staţii de transformare pentru tensiuni pînă la 110 kV inclusiv, la orice categorie de consumatori

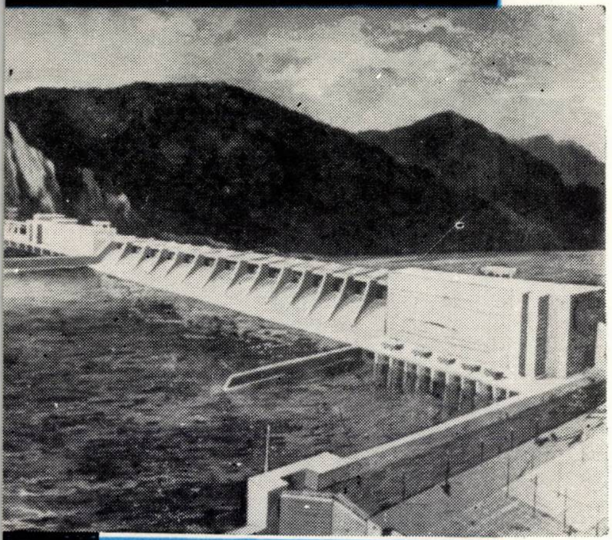
. electrificări rurale.



# I.R.E. BRAŞOV

Str. Republicii nr. 24
tel 11.43.0

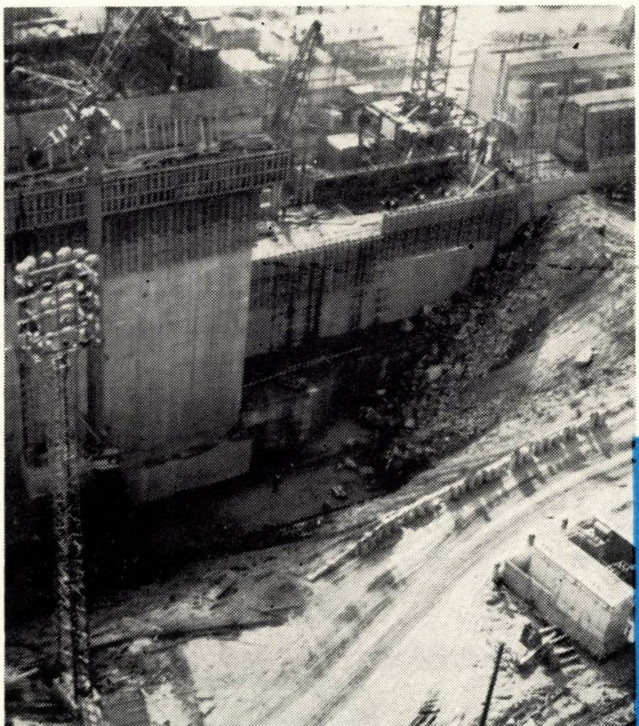
ICH
bucurești



INTREPRINDEREA DE CONSTRUCȚII
HIDROENERGETICE - BUCUREȘTI

EXECUTĂ :

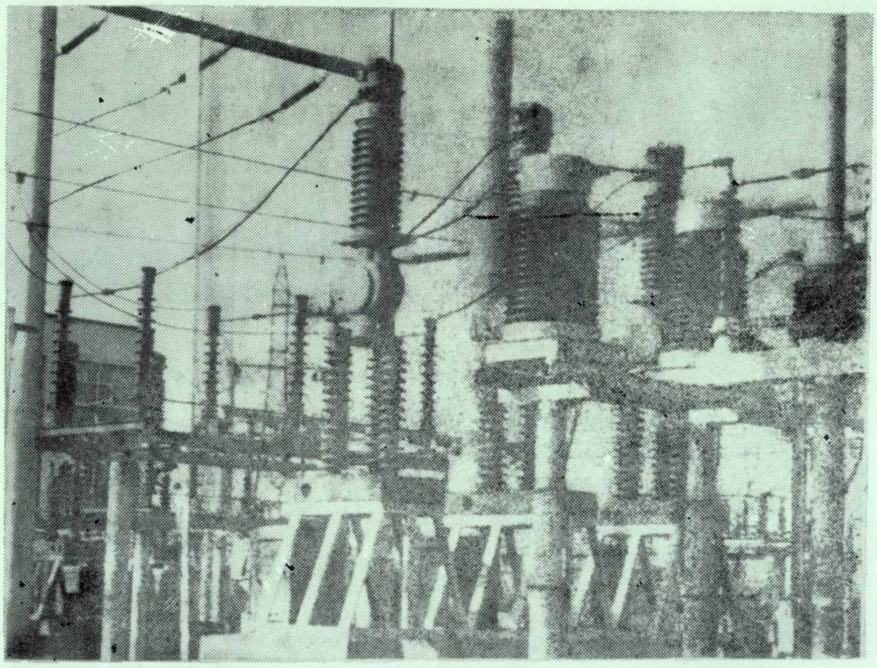
. Baraje de toate genurile
. Centrale hidroelectrice subterane şi de suprafaţă
. Castele de echilibru
. Ecluze
. Tuneluri şi galerii hidrotehnice
. Canale şi diguri
. Amenajări pentru alimentarea cu apă a marilor industrii
. Complexe pentru producerea agregatelor de betoane.



I. C. H. - BUCUREȘTI
Str. Dimitrie Onciul nr. 23-25
Telefon : 35. 54. 70
Telex : INCOHIDROEN 011 - 244
Bucureşti 3

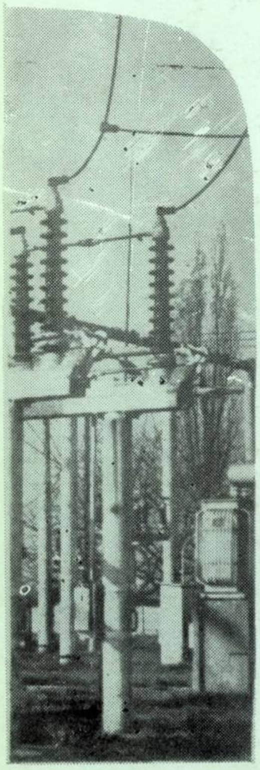
# i.r.e. bacău

Str. Karl Marx nr. 33
Telefon : 16 050



- Transportă şi distribuie energie electrică prin reţelele sale, alimentate din sistemul energetic naţional, asigurînd tuturor consumatorilor de energie electrică o bună deservire
- Proiectează reţele, staţii şi posturi de transformare, instalaţii interioare în mediul urban şi rural; instalaţii de iluminat exterior
- Execută reţele şi posturi de transformare
- Execută încercări profilactice la aparatajul electric şi verificări de protecţii prin relee
- Asigură buna deservire a consumatorilor de energie electrică din sectorul industrial, agricol şi casnic din zonă
- Execută verificări de aparate electrice de măsură şi control în laboratorul PRAM.

- Adresaţi-vă serviciilor de specialitate ale întreprinderii, care vă stau la dispoziţie pentru rezolvarea în cele mai bune condiţii tehnice şi economice şi tuturor problemelor privind alimentarea cu energie electrică.



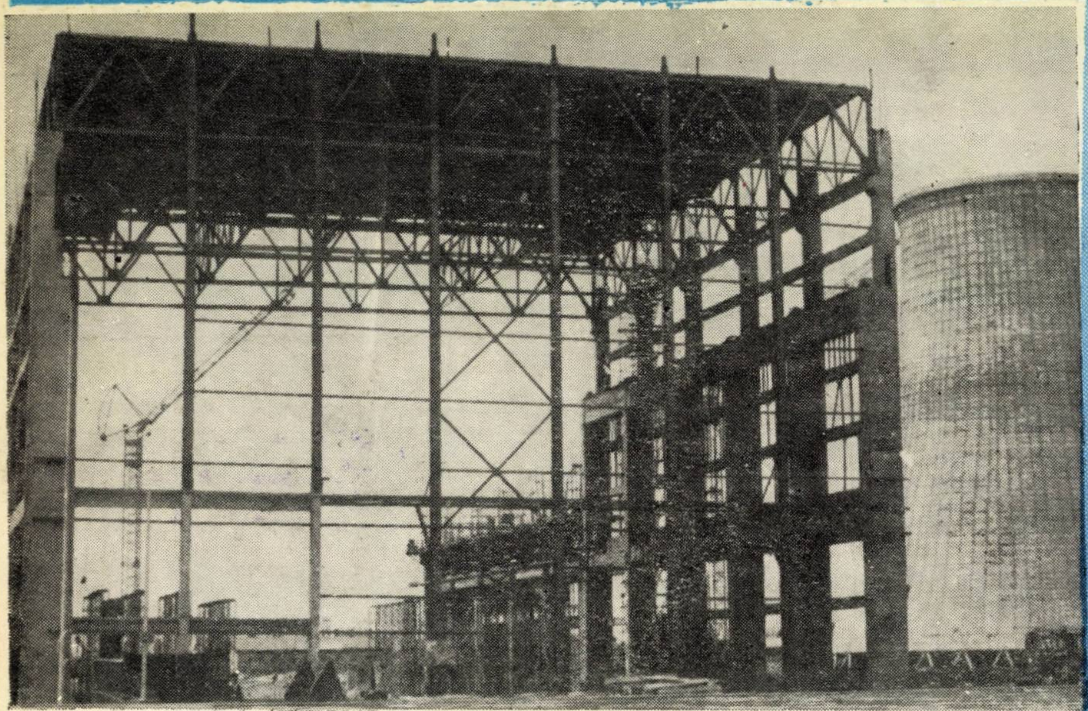
**ÎNTREPRINDEREA DE REŢELE ELECTRICE BACĂU,**

INTREPRINDEREA

# Energomontaj

EXECUTĂ LUCRĂRI DE MONTAJ
PENTRU CENTRALE ELECTRICE

Întreprinderea Energomontaj
Bucureşti, Cal. Dorobanţilor nr. 105




**TCME**

**TRUSTUL DE CONSTRUCŢII ŞI MONTAJE ENERGETICE**

*— B U C U R E Ş T I —*

*Calea Moşilor nr. 158* *Sectorul 4*

*telefon: 16.63.30.* *telex 271*

1973 JAN 17

Execută prin unităţile sale:

- **Lucrări de construcţii termoenergetice:**

— centrale termoelectrice
— termoficări urbane şi industriale
— construcţii hidrotehnice aferente centralelor termoelectrice
— coşuri de fum prin glisare, cu înălţimi pînă la 250 m
— turnuri de răcire cu tiraj natural şi tiraj forţat
— montaje de prefabricate grele din beton armat pentru orice construcţie termoenergetică

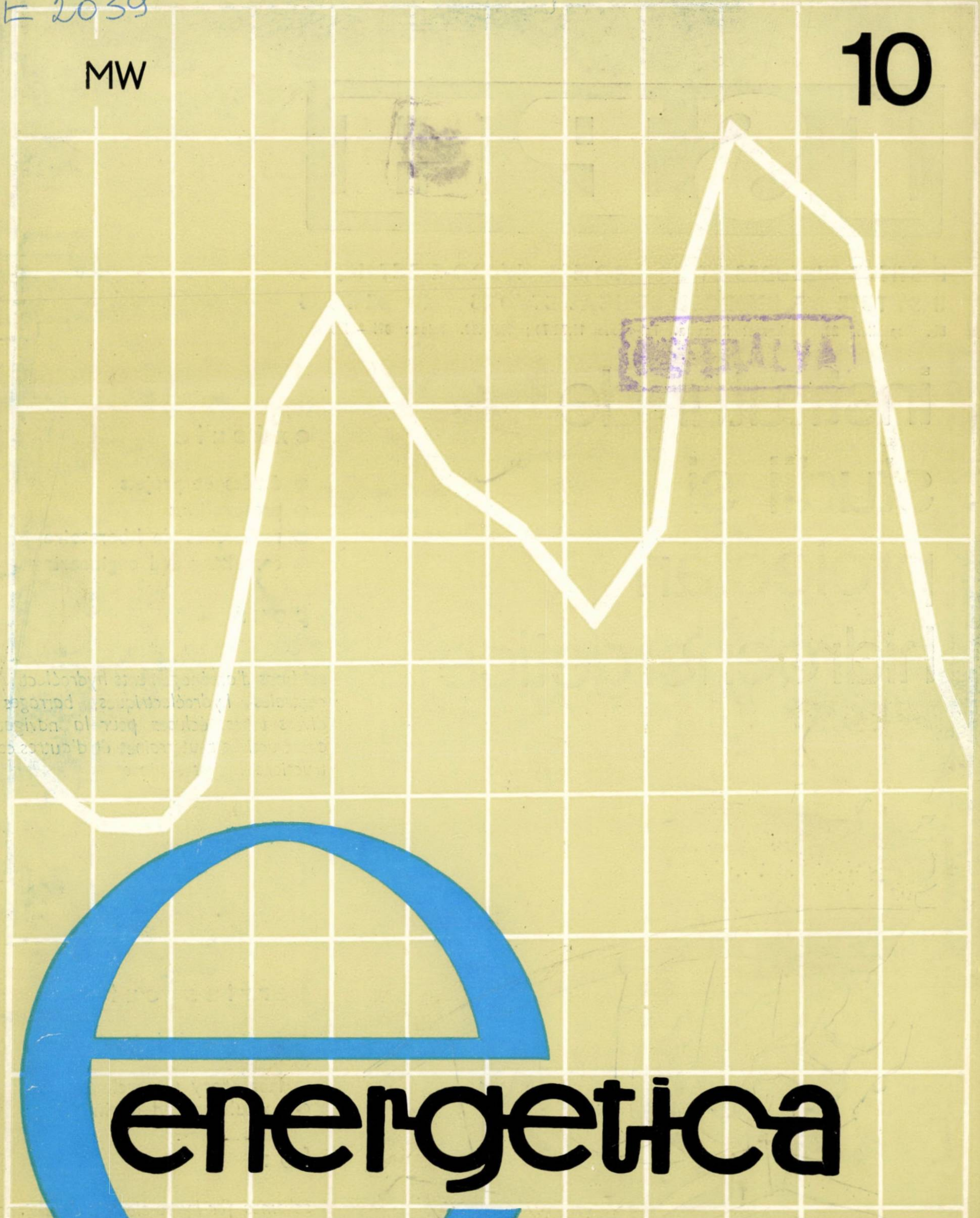
- **Lucrări de montaj pentru centrale termo şi hidroelectrice:**

— cazane de abur moderne de mari capacităţi cu parametri ridicaţi
— turbine cu abur pînă la 345 MW
— turbine cu gaze pînă la 35 MW
— turbine hidraulice pînă la 176 MW
— generatoare electrice
— compensatoare sincrone
— instalaţii termomecanice şi hidromecanice pentru centrale termoelectrice şi hidroelectrice
— instalaţii electrice de joasă, înaltă şi foarte înaltă tensiune, aferente centralelor electrice
— instalaţii de măsură, control, automatizare, atît la partea mecanică cît şi la partea electrică.

- **Lucrările de construcţii şi montaje se execută de către Trustul de Construcţii şi Montaje Energetice prin metode tehnologice moderne de mari productivităţi, în durate de timp minime şi la un înalt grad de calitate.**

E 2039

10




# energetica

VOLUMUL XX
BUCUREȘTI • OCTOMBRIE 1972

# ISPH

INSTITUT D'ETUDES ET DE PROJETS HYDRO-ELECTRIQUES
INSTITUTE OF HYDROELECTRICAL STUDIES AND DESIGNS
Bb. Republicii 29, Bucharest Romania. Telephone 14.72.70 ; 15.89.60. Telex : 011 – 413

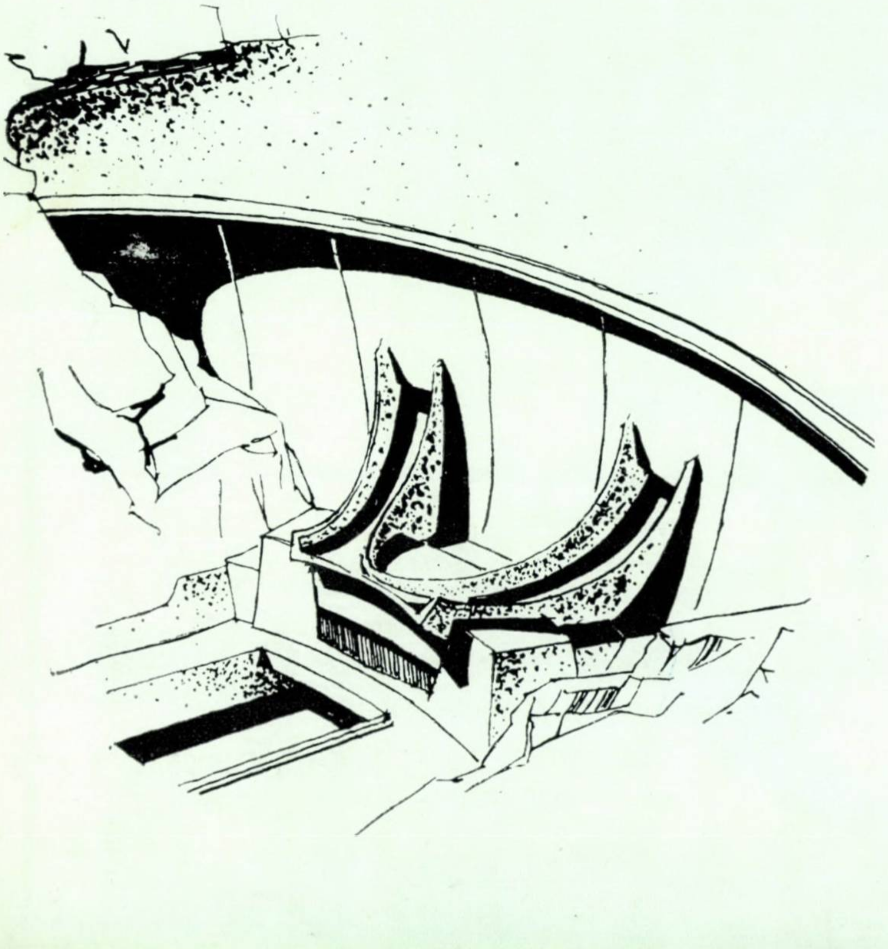
# institutul de studii și proiectări hidroenergetice

**exécute**

- études et projets
- prospections
- recherches de laboratoire
- consulting and engineering

**pour**

*schémas d'aménagements hydroélectrique centrales hydroélectriques, barrages d divers types, écluses pour la navigatio constructions souterraines ét d'autres cons tructions hydrotechniques*



**carries out**

- studies and designs
- prospections
- laboratory researches
- consulting and engineering

**for**

. *schemes for hydro-electric developmen hydro-electric plants, different types dams, navigation locks, undergrou constructions and other hydraulic wor*

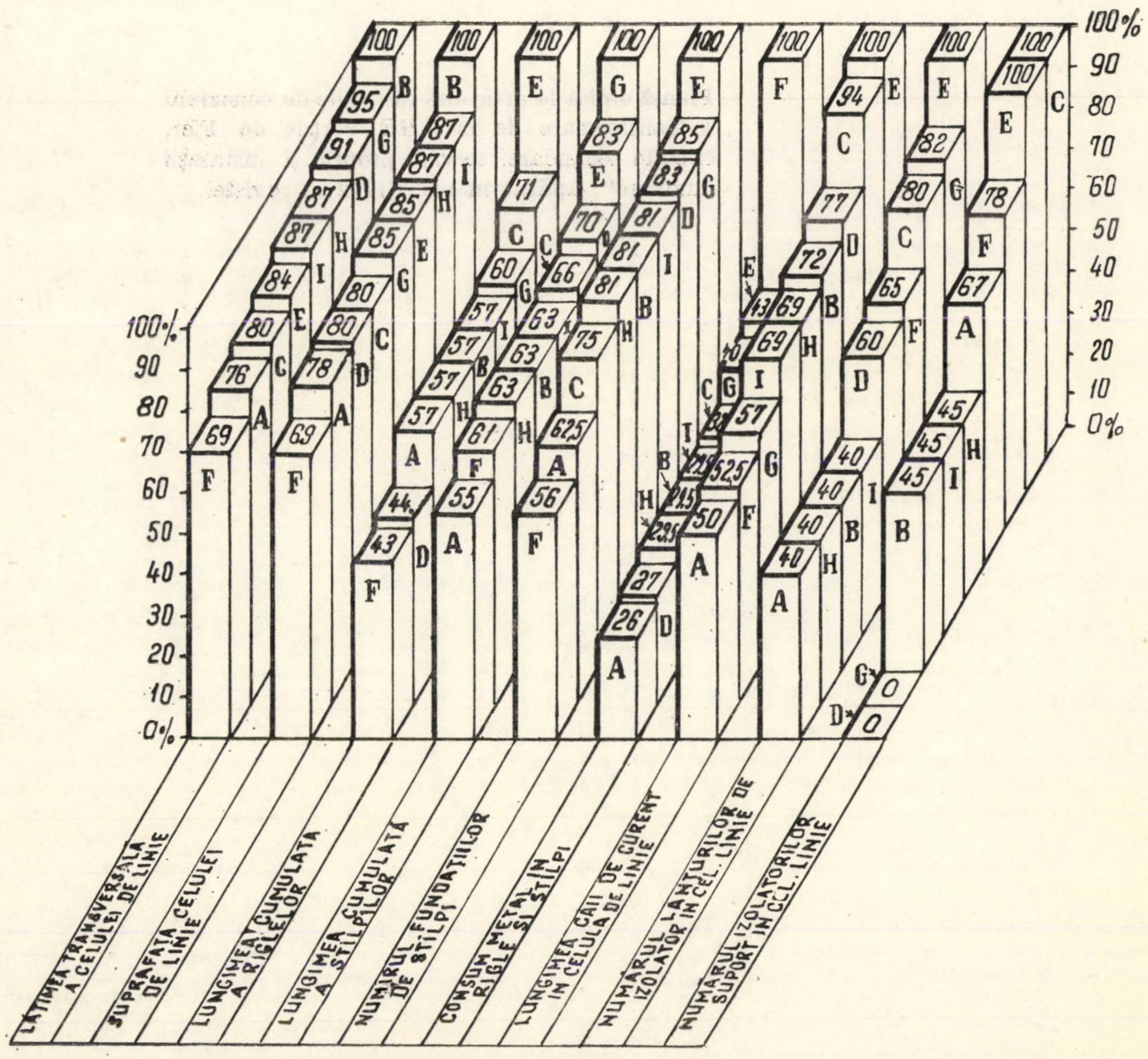



Fig. 4. Diagrama comparativă a parametrilor principali ai staţiilor de 220 kV din R.S. România (raportat la celula de linie cu bare duble şi bare de transfer):

*A* – staţia Argeş; *B* – staţia Barboşi; *C* – staţia Bucureşti-Sud; *D* – staţia Hunedoara P; *E* – staţia Işalniţa (Luduş); *F* – staţia Porţile de Fier; *G* – staţia Sîngeorgiu de Pădure; *H* – staţia Slatina; *I* – staţia pr. tip.

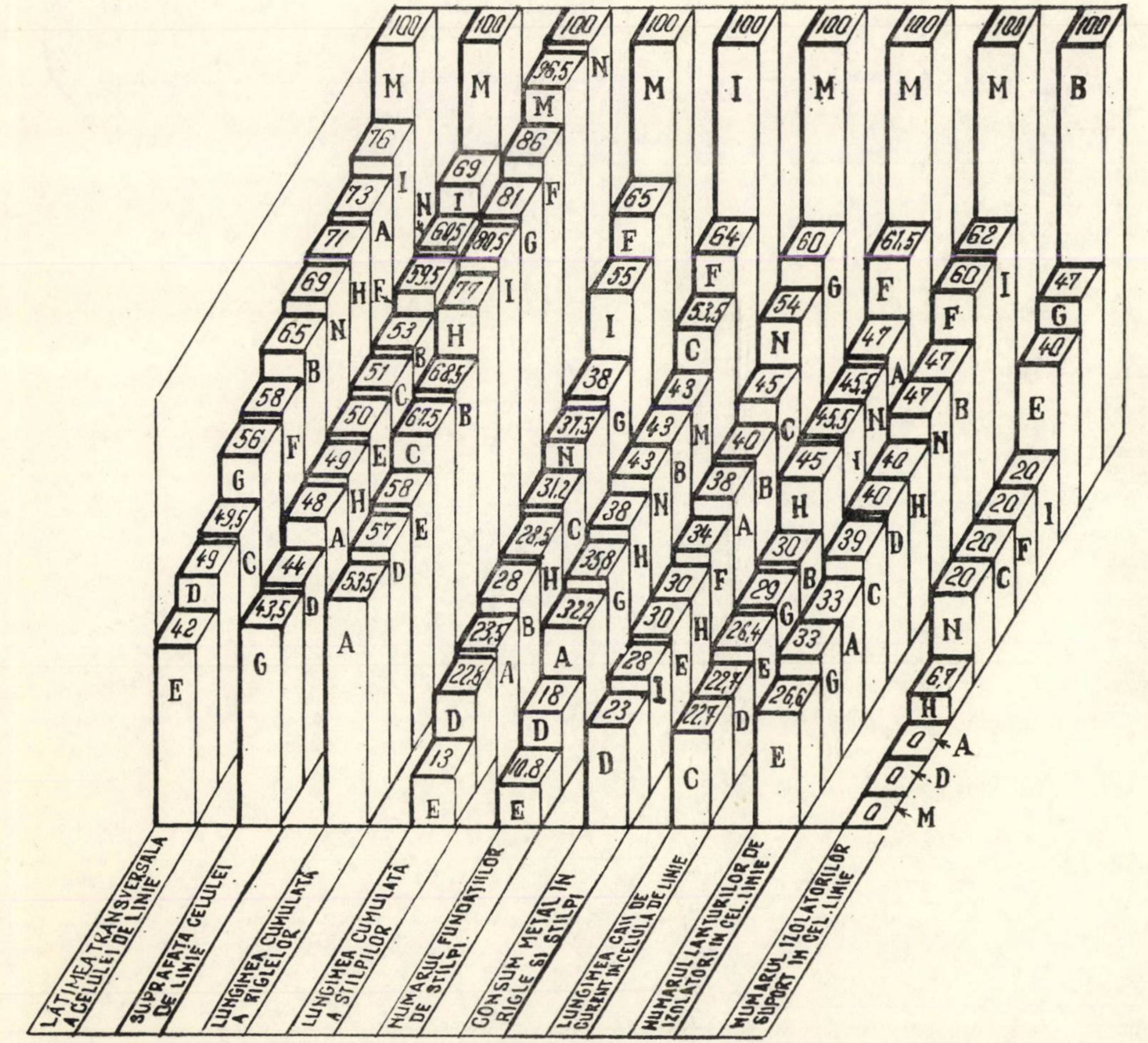



Fig. 5. Diagrama comparativă a principalilor parametri ai staţiilor de 400 kV din R.S. România şi din alte ţări (raportat la celula de linie cu bare duble şi bare de transfer cu excepţia staţiilor din Franţa cu bare duble):

*A* – staţie R.D.G.; *B* – staţie R.F. a Germaniei (Rommerskirschen); *C* – staţie Franţa (Creney F.M.); *D* – staţie Franţa (Plessisgassot); *E* – staţie Franţa (Vielmoulin); *F* – staţia Luduş; *G* – staţia Porţile de Fier; *H* – staţia Slatina (Bucureşti-Sud); *M* – staţie Suedia; *N* – staţie U.R.S.S. de 400 kV; *I* – staţie U.R.S.S. de 500 kV.

2039

Planşă omisă la articolul. „Staţiile de conexiuni şi transformare de la CHE Porţile de Fier, circuite secundare, servicii proprii şi instalaţii auxiliare“, apărut în nr. 9/1972 al revistei.

# ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 20 Nr 10 OCTOMBRIE

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁR ÉS DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT

## *Cuprinsul*


| | | Pag. |
|---|---|---|
| *Nitu, V. I., Stein, M., Pipa, G. şi Oprişan, G.* | Aspecte privind interpretarea numărului mediu de întreruperi ale unei scheme, obţinut în urma calculelor de siguranţă | 433—437 |
| *Moţoiu, C., Leca, A., Ohanian-Constantinescu, V., Ionescu, C., Ionescu, L., Prisecaru, I., Dumitrescu, I. şi Brătianu, C.* | Influenţa temperaturii iniţiale asupra condiţiilor de funcţionare a supraîncălzitorului şi a conductelor de abur de înaltă presiune la o centrală de termoficare | 438—447 |
| *Chercea, G. şi Tardos, G.* | Calculul temperaturilor caracteristice din focarele cazanelor de abur | 447—450 |
| *Moraite, G.* | Aspecte ale reglajului automat de tensiune şi viteză al grupurilor generatoare de mare putere | 450—454 |
| *Potlog, D. M.* | Condiţii de insensibilizare a motoarelor asincrone la goluri de tensiune | 454—461 |
| *Creţu, D., Haţeganu, I. şi Tinţăreanu, C.* | Vibraţia în crestătură a conductoarelor înfăşurării statorice a turbo şi hidrogeneratoarelor mari | 462—470 |
| *Darie, S. şi Micu, R.* | Surse de putere reactivă cu reglaj continuu | 471—474 |
| *Nabijovici, A.* | Calculul unor parametri privind cavitaţia pompelor de alimentare | 475—477 |

ENERGETICA PESTE HOTARE

CRONICĂ

INFORMAŢII

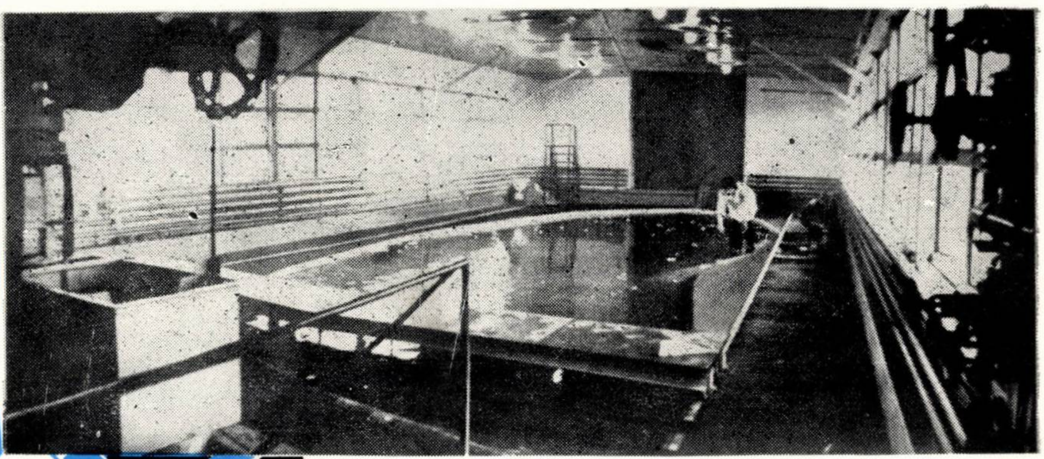

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. univ. emerit ing. I. D. STĂNCESCU, redactor responsabil, ing. Gr. IORGULESCU, redactor responsabil adjunct, conf. ing. I. A. BADEA, ing. ST. BERENGHI, conf. ing. A. COGĂLNICEANU, dr. ing. P. DIMO, membru corespondent al Academiei Republicii Socialiste România, laureat al Premiului de Stat, ing. H. FURTUNESCU, ing. P. IFTIME, ing. L. LUCA, ing. B. MARCU, dr. ing. A. MĂCRIŞ, conf. ing. C. MIHĂILEANU, prof. dr. ing. V. I. NIŢU, ing. A. SPÎNU, ing. R. ZANE

OFICIUL DE DOCUMENTARE ENERGETICĂ

# ICENERG

*București, sector 4, Str. Doamnei nr. 14–16, Telefon: 16 65 60–15 08 90*



- ICENERG EXECUTA CERCETARI STIINTÎFICE PENTRU ASIGURAREA:
  . dezvoltării sistemelor energetice;
  . exploatării sigure şi economice a instalaţiilor din sistemele energetice;
  . continuităţii şi siguranţei în alimentarea consumatorilor;
  . ridicării nivelului tehnic în proiectarea, construcţia şi exploatarea instalaţiilor de producere, transport şi utilizare a energiei electrice şi căldurii produse prin termoficare.
- ICENERG ACORDA ASISTENTA TEHNICA PRIN STUDII SI CERCETARI STIINTIFICE IN DOMENIILE:
  . sisteme şi reţele electrice;
  . producerea şi utilizarea energiei electrice;
  . tehnica tensiunilor înalte;
  . automatizare;
  . centrale termoelectrice şi de termoficare;
  . hidrotehnică industrială în centrale termoelectrice;
  . chimia centralelor termoelectrice;
  . cercetări economice şi organizarea ştiinţifică a producţiei.
- LABORATOARELE DE TURNURI SI CIRCUITE DE RACIRE VA STAU LA DISPOZITIE PENTRU :
  . încercări de verificare a capacităţii de răcire şi de optimizare a funcţionării turnurilor de răcire de mare capacitate;
  . cercetări privind debitmetria de exploatare pe circuitele hidrotehnice ale centralelor electrice;
  . cercetări privind transportul hidraulic prin conducte.

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁR ÉS DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT

## СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.316.004.6

*Ниту, В. И., Штейн, М., Пипа, Г.* и *Опришан, Г.:* **К вопросу интерпретации среднего количества разрывов схемы, полученного по расчетам надежности.**
Energetica 20 (1972), № 10, стр. 433–437

ДК 621.311.22.004.13:697.34

*Моцою, К., Лека, А., Оханиян-Константинеску, В., Ионеску, К., Ионеску, Л., Присекару, И., Думитреску, И.* и *Брэтиану, К.:* **Влияние первоначальной температуры на условия работы сверхподогревателя и высоконапорных паровых трубопроводов у ТЭС**

Анализируется влияние уровнятемпературы острого пара на продолжительное поведение конвективного сверхподогревателя, паровых трубопроводов, а также и на условия работы турбины у ТЭС, оборудованных котлами ТГМ-84-3, трубопроводы которых для высоких напоров и температур изготовлены из стали типа 12 ХМФ (12 $Х_1$МФ). Рекомендуются меры безопасности, включительно уменьшение температуры сверхподогреваемого пара 540°.
Energetica 20 (1972), № 10, стр. 438–447

ДК 621,182.9

*Керча, Г.* и *Тардос, Г.:* **Расчет характерных температур топок парокотлов**

Представлен метод определения температуры газов горения в разных точках экранированной топки парокотла, в котором горит пылевидный уголь и естественный газ в разных процентах.
Energetica 20 (1972), № 10, стр. 447–450

ДК 621.392:621.3.026.027–52

*Морайтэ, Г.:* **Некоторые аспекты автоматического регулирования напряжения и скорости мощных генераторов**

Указывается на необходимость более точного знания параметров работы регулировочных установок напряжения и скорости, и предложения для румынской энергосистемы.
Energetica 20 (1972), № 10, стр. 450–454

ДК 621.333

*Потлог, Д. М.:* **Условия нечувствительности асинхронных двигателей при прерываниях напряжения**

Представлены уравнения и характеристики работы асинхронных двигателей при прерываниях напряжения, приводя к выводам о методах получения их нечувствительности.
Energetica 20 (1972), № 10, стр. 454–461

ДК 534.1:621.322–81:631.322–83

*Крецу, Д., Хацегану, И.* и *Цынцэреану, К.:* **Вибрация в пазе проводов обмотки статора в мощных турбо и гидрогенераторах**

На основе расчетных данных , поведения при эксплуатации и анализа систематических аварий у мощных турбо и гидрогенераторов при эксплуатации, устанавливаются дополнительные объективные критерия в целях соответствующего выбора типа изоляции обмотки статора, системы крепления шин в пазе и конструктивные меры, которые надо принять для устранения неисправностей изоляции или для уменьшения электродинамических сил в пазе.
Energetica 20 (1972), № 10, стр. 4?2–470

ДК 621.311.6.016.25

*Дарие, С.* и *Мику, Р.:* **Источники реактивной мощности с постоянным регулированием**

Статья предлогает новый вид источника реактивной мощности с постоянным регулированием, принцип работы основываясь на регулирование энергии накопленной феррокатушкой. Система представляет собой статический источник реактивной мощности, которым можно управлять с помощью системы автоматического регулирования. Представляется принцип, способ работы и предпосылки проектирования.
Energetica 20 (1972), № 10, стр. 471–474

ДК 532.528:621.187.131

*Набижович, А.:* **Расчет некоторых параметров относительно кавитации питательных насосов**

Статья представляет способ определения условий при которых питательный насос работает без опасности появления кавитации.
Energetica 20 (1972), № 10, стр. 475–477

## INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.316.004.6

*Nitu, V. I., Stein, M., Pipa, G.* und *Oprișan, G.:* **Deutung der sich aus Berechnungen der Betriebssicherheit ergebenden mittleren Anzahl von Unterbrechungen eines Schaltbides**
Energetica 20 (1970), H. 10, S. 433–437

DK 621.311.22.004.13:697.34

*Moțoiu, C., Leca, A., Ohanian-Constantinescu, V., Ionescu, C., Ionescu, L., Prisecaru, I., Dumitrescu, I.* und *Brătianu, C.:* **Der Einfluss der Anfangstemperatur auf die Betriebsbedingungen von Überhitzern und Hochdruckdampfleitungen in einem Fernheizkraftwerk**

Es wird der Einfluss der Frischdampftemperaturpegel auf das Dauerverhalten konvektiver Überhitzer und von Dampfrohren, sowie auf die Betriebsbedingungen von Dampfkesseln der Bautype TGM–84–3 in Fernheizkraftwerken erörtert, wobei für fie Hochdruckrohre Stähle der Reihe 12 HMF (12H1MF) verwendet werden. Sicherheitsmassnahmen werden empfohlen, darunter die Begrenzung der Temperatur des überhitzten Dampfes auf 540 °C.
Energetica 20 (1972) H. 10, S. 438–447

DK 621.182.9

*Chercea, G.* und *Tardos, G.:* **Berechnung charakteristischer Temperaturen aus dem Feuerungsraum von Dampfkesseln**

Es wird ein Verfahren zur Ermittlung der Temperatur entflammter Gase in verschiedene Stellen des abgeschirmten Feuerraums eines Dampfkessel erörtert. Dabei wird angenommen, dass das Verhältnis zwischen den gleichzeitig gefeuerten Brennstoffen, und zwar Kohlenstaub und Naturgas, verändert werden kann.
Energetica 20 (1972), H. 10, S. 447–450

DK 621.392:3.026.027–52

*Moraite, G.:* **Merkmale automatischen Spannungs- und Drehzahlregelung bei Generatoren grosser Leistung**

Der Nachweis wird gebracht, dass die genauere Kenntnis der Betriebsparameter von Spannungs- und Drehzahlregelungsvorrichtungen erforderlich ist und entsprechende Vorschläge werden für das rumänische Landesverbundnetz angeführt.
Energetica 20 (1972), H. 10, S. 450–454

DK 621.333

*Potlog, D. M.* **Bedingungen asynchrone Motoren bei Spannungslücken unempfindlich zu machen**

Die Betriebsgleichungen und- merkmale von Spannungslücken ausgesetzten Motoren werden dargestellt und Wege zur Desensibilisierung derselben angegeben.
Energetica 20 (1972), H. 10, S. 454–461

DK 534.1:621.322–81:621.322–83

*Crețu, D., Hațeganu, I.* und *Țințăreanu, V.:* **Schwingungen im Nut von Leitern der Ständerwicklungen bei grossen Dampf- und Wasserturbinen**

Auf Grund von Rechnungsangaben, an Hand des Bertriebsverhaltens und der Untersuchung bei im Betrieb befindlichen Dampf- und Wasserturbinen auftretender systematischer Störungen werden zusätzliche sachliche Prüfmerkmale ermittelt, welche eine entsprechende Auswahl der Isolierungstype der Ständerwicklung, der Befestingungsweise der Barren im Nut und der Konstruktionsmassnahmen ermöglicht, die zwecks Vermeidung typischer Isolationsschäden oder zur Herabsetzung der elektrodynamischen Kräfte im Nut angewendet werden müssen.
Energetica 20 (1972), H. 10, S. 462–470

DK 621.311.6.016.25

*Darie, S.* und *Micu, R.:* **Blindleistungsquellen mit Dauerregelung**

Der Verfasser schlägt eine neuartige Blindleistungsquelle mit Dauerregelung vor, deren Funktionsweise auf die Regelung der im einer Spule mit Luftspalt gesamelten Energie fusst. Das System erweist sich als eine statische Blindleistungsquelle, welche sich vermittels einer automatischen Regelung steuern lasst. Es werden Grundzüge, Funktionsweise und Konstruktionsvoraussetzungen dargestellt.
Energetica 20 (1972), H. 10, S. 471–474

DK 532.528:621.187.131

*Nabijovici, A.:* **Berechnung einiger Parameter von Kavitationsvorgängen in Wasserspeisepumpen**

Der Aufsatz bietet ein Ermittlungsverfahren der Bedingungen unter denen eine Wasserspeisepumpe ohne Gefährdung durch Auftreten von Kavitationsvorgängen läuft.
Energetica 20 (1972), H. 10, S. 475–477

# SOMMAIRE

CD 621.316.004.6
*Nitu, V. I., Stein, M., Pipa, G.* et *Oprișan, G.* : **L'interprétation du nombre moyen d'interruptions d'un schéma, obtenu à la suite des calculs de fiabilité**
Energetica 20 (1972), no. 10, p. 433–437

CD 621.311.22.004.13:697.34
*Moțoiu, C., Leca, A., Ohanian-Constantinescu, V., Ionescu, C., Ionescu L., Prisecaru, I., Dumitrescu, I.* et *Brătianu, C.* : **L'influence de la température initiale sur les conditions de fonctionnement du surchauffeur et des tuyaux de vapeur à haute pression dans une centrale à production combinée chaleur/force**

Les auteurs étudient l'influence du niveau de la température de la vapeur fraîche sur le comportement de durée du surchauffeur, des tuyaux de vapeur, ainsi que sur les conditions de fonctionnement de la turbine, dans les centrales à production combinée chaleur/force équipées avec des chaudières TGM–84–3. L'acier employé dans ces chaudières pour les tuyaux de haute pression et température élévée est du type 12 HMF (12 H1MF). On recommande des mesures de sûreté y compris la réduction de la température de la vapeur surchauffée à 540 °C.
Energetica 20 (1972), no. 10, p. 438–447

CD 621.182.9
*Chercea, G.* et *Tardos, G.* : **Le calcul des températures caractéristiques dans les foyers des chaudières à vapeur**

Méthode servant à établir la température des gaz de combustion dans différents points du foyer d'une chaudière à vapeur brûlant du charbon pulvérisé et du gaz naturel dans différentes proportions.
Energetica 20 (1972), no. 10, p. 447–450

CD 621.392:621.3.026.027–52
*Moraite, G.* : **Aspects du réglage automatique de tension et de vitesse des groupes générateurs de grande puissance**

L'auteur souligne la nécessité de mieux connaitre les paramètres de fonctionnement des réglages de tension et de vitesse et soumet de propositions pour le réseau roumain.
Energetica 20 (1972), no. 10, p. 450–454

CD 621.333
*Pollog, D. M.* : **Conditions d'insensibilisation des moteurs asynchrones en cas de vides de tension**

Présentation des équations et des caractéristiques de fonctionnement des moteurs asynchrones en cas de vides de tension, suivie de conclusions sur les moyens pour désensibiliser les moteurs.
Energetica 20 (1972), no. 10, p. 454–461

CD 534.1:621.322–81:621.322–83
*Crețu, D., Hațeganu, I.* et *Țințăreanu, C.* : **Vibration dans la fente (entrefer) des conducteurs de l'enroulement du stator des grands turbo-alternateurs et hydroalternateurs**

A base des données de calcul, du comportement dans l'exploitation et de l'analyse de défauts systématiques paraissant dans les grands turbo-alternateurs et hydro-alternateurs en fonction, on établit des critères objectifs supplémentaires afin de choisir un type d'isolement adéquat pour l'enroulement du stator, le système de renforcement des barres dans la fente et les mesures constructives à adopter pour éliminer les défauts typiques d'isolement signalés ou pour réduire les forces électrodynamiques dans la fente.
Energetica 20 (1972), no. 10, p. 462–470

CD 621.311.6.016.25
*Darie, S.* et *Micu, R.*: **Sources de puissance réactive avec réglage continu**

Cet ouvrage présente un nouveau type de source de puissance réactive avec réglage continu, dont le principe de fonctionnement est basé sur le réglage de l'énergie accumulée par une bobine avec entrefer. Le système est présenté comme une source statistique de puissance réactive pouvant être commandée par un système de réglage automatique. On indique le principe, le mode de fonctionnement et les données initiales pour l'étude.
Energetica 20 (1972), no. 10, p. 471–474

CD 532.528:621.187.131
*Nabijovici, A.* : **Le calcul des paramètres de la cavitation des pompes d'alimentation**

L'article présente un mode de détermination des conditions dans lesquelles une pompe d'alimentation travaille sans danger de cavitation.
Energetica 20, (1972) no. 10, p. 475–477

# CONTENTS

DC 621.316.004.6
*Nitu, V. I., Stein, M., Pipa, G.* and *Oprișan, G.* : **About the interpretation of the average number of outages in a diagram obtained following safety calculations**
Energetica 20 (1972), nr. 10, p. 433–437

DC 621.311.22.004.13:697.34
*Moțoiu, C., Leca, A., Ohanian-Constantinescu, V., Ionescu, C., Ionescu L., Prisecaru, I., Dumitrescu, I.* and *Brătianu, C.* : **The influence of the starting temperature upon the operating conditions of the reheater and the high-pressure steam pipes in a power plant with combined heat and power production**

This is an analysis of the influence exercised by the level of fresh steam temperature upon the behaviour in time of the convection reheater, the steam pipes and the operating conditions of the turbine in combined heat and power production plants equipped with TGM–84–3 boilers. The steel used for high pressure and high temperature pipes in these boilers is of the HMF (12 H1MF) type. Safety measures are recommended as well as the reduction of superheated steam temperature to 540°C.
Energetica 20 (1972), nr. 10, p. 438–447

DC 621.182.9
*Chercea, G.* and *Tardos, G.* : **The calculation of characteristic temperatures in the combustion chambres of steam boilers**

The authors present a method for establishing the temperature of combustion gasses at different locations in the combustion chamber of a steam boiler running with pulverised coal and natural gas in various amounts.
Energetica 20 (1972), nr. 10, p. 447–450

DC 621.392:621.3.026.027–52
*Moraite, G.* : **Some aspects of the automatic voltage and speed control of high power generators**

The author stresses the necessity of better knowing the operating parameters of speed and voltage control and presents some ideas for the Romanian power system.
Energetica 20 (1972), nr. 10, p. 450–454

DC 621.333
*Pollog, D. M.* : **Insensitiveness of asynchronous motors to voltage outages**

Here are several equations and operating data for asynchronous motors submitted to voltage outages followed by conclusions regarding the methods used to make them insensitive.
Energetica 20 (1972), nr. 10, p. 454–461

DC 534.162:1.322–81:621.322–83
*Crețu, D., Hațeganu, I.* and *Tințăreanu, C.* : **Vibrations in the gap of the stator winding conductors for large turbo-generators and hydro-generators**

On the basis of calculation data, of the operating behaviour and the analysis of some systematic faults appearing in large running turbo-generators and hydro-generators, some objective supplementary criteria are established with the purpose of adequately choosing the type of insulation of the stator winding, the rod strengthening system in the gap and the manufacturing measures to be adopted for removing the typical insulation faults or reducing electrodynamic power in the gap.
Energetica 20 (1972), nr. 10, p. 462–470

DC 621.311.6.016.25
*Darie, S.* and *Micu, R.* : **Reactive power sources with continous control**

The authors present a new type of reactive power source with continous control, where the operating principle is based on the control of energy stored in an air-gap spool. The system is a steady-state reactive power source, which can be controlled by an automatic control system. The principle, the operating conditions and the basic design are included in the article.
Energetica 20 (1972), nr. 10, p. 471–474

DC 532.528:621.187.131
*Nabijovici, A.* : **The calculation of some parameters regarding the cavitation of feed pumps**

How to establish the conditions under which a feed pump works without the danger of suffering cavitations,
Energetica 20 (1972), nr. 10, p. 475–477

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁR ÉS DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT

# Aspecte privind interpretarea numărului mediu de întreruperi ale unei scheme, obţinut în urma calculelor de siguranţă

Prof. dr. ing. **V.I. Nitu,**
ing. **M. Stein,**
matem. **G. Pipa**
şi matem. **G. Oprişan***)

## Consideraţii generale

După cum se ştie, unul dintre indicatorii de siguranţă importanţi urmăriţi prin calculele de siguranţă este numărul mediu de întreruperi într-un interval de timp dat. Importanţa acestui indicator este cu atît mai mare cu cît instalaţia studiată este mai sensibilă din acest punct de vedere. Este cazul, spre exemplu, al schemelor de alimentare cu energie electrică a unor mari consumatori, la care se pot produce daune foarte mari, în funcţie de numărul de întreruperi, chiar dacă acestea sînt de scurtă durată.

Astfel, rezultă necesitatea de a avea o imagine cît mai clară asupra modului în care trebuie interpretate rezultatele obţinute, deoarece, în caz contrar, există riscul unor sub, respectiv, supraaprecieri a condiţiilor de funcţionare a schemei din acest punct de vedere.

În cele ce urmează se vor scoate în evidenţă unele aspecte care pot servi unei interpretări cît mai corecte a rezultatelor calculelor de siguranţă.

În studiul comportării în funcţionare a unui element, un rol fundamental îl joacă variabila aleatorie — numărul de defecţiuni apărute în timpul $t$ — variabilă notată în general cu $\nu(t)$.

Această variabilă poate lua numai valori întregi pozitive. În cele ce urmează ne propunem să-i studiem repartiţia.

În ipoteza în care un element defect este înlocuit cu un altul într-un interval de timp $t_d = 0$ (care se repară într-un timp practic neglijabil în raport cu durata medie de funcţionare) se observă că [1]:

$$P\{\nu(t) \geqslant n\} = P\{t_n < t\} = F_n(t), \qquad (1)$$

în care $t_n$ reprezintă momentul celei de-a $n$-a defecţiuni, iar $F_n(t)$ — funcţia de repartiţie a timpului $t_n$; aceasta deoarece cele două evenimente — „numărul de defecţiuni este mai mare ca $n$" şi „momentul $t$ este situat după momentul $t_n$"—sînt echivalente.

Rezultă:

$$P_n(t) = P\{\nu(t) = n\} = F_n(t) - F_{n+1}(t), \quad (2)$$

care ne dă repartiţia (respectiv funcţia de densitate de probabilitate) a numărului de defecţiuni $\nu(t)$.

În particular

$$P_0(t) = 1 - F(t)$$

În general calculele actuale de siguranţă se fac conform unui model care are la bază presupunerea că timpii de funcţionare neîntreruptă a unui element urmează o lege de tip exponenţial.

Deci, în condiţiile în care $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ se obţine:

$$P_n(t) = P\{\nu(t) = n\} = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t}, \qquad (3)$$

care corespunde funcţiei de densitate de probabilitate de tip Poisson. (Parametrul $\lambda$ se numeşte intensitatea de avariere.)

Se cunoaşte, din teoria statisticii matematice, că o proprietate importantă a legii Poisson este aceea că media sa este

$$M[\nu(t)] = \lambda t, \qquad (4)$$

iar dispersia

$$D^2[\nu(t)] = \lambda t. \qquad (5)$$

De asemenea, în cazul legii Poisson, valoarea medie coincide cu modul (moda), adică cu valoarea căreia îi corespunde o probabilitate maximă de realizare [2].

$$P\{\nu(t) = \text{medie}\} = \text{maximă}. \qquad (6)$$

*Teoremă*: Dacă $X_1, X_2 \ldots X_N$ sînt $N$ variabile aleatorii independente, urmînd fiecare o lege de repartiţie de tip Poisson cu parametrii $\lambda_1, \lambda_2 \ldots \lambda_N$, atunci legea de repartiţie a sumei acestor variabile aleatorii este legea Poisson de parametru $\lambda_1 + \lambda_2 + \ldots + \lambda_N$.

### 1. Semnificaţia valorii medii a numărului de întreruperi pentru elemente cu timp de reparaţie $t_d \simeq 0$

După cum s-a arătat, numărul defecţiunilor unui element într-un interval de timp este o variabilă aleatorie care urmează o lege Poisson.

*) Prof. dr. ing. V. I. Nitu este directorul ISPE; ing. M. Stein este consilier, coordonatorul colectivului de calcul al siguranţei instalaţiilor din ISPE; Gabriela Pipa este matematician la ISPE; matem. G. Oprişan este cercetător la Centrul de statistică al Academiei R.S.R.

Considerînd o schemă formată din mai multe elemente independente în serie, deci cu proprietățile :

— defectarea sau funcționarea unui element este independentă de starea celorlalte elemente, adică în timp ce un element este defect celelalte elemente au posibilitatea să se mai defecteze ;

— defectarea unui element scoate schema din starea de succes ;

se poate afirma că numărul de defecțiuni ale schemei este o variabilă aleatorie egală cu suma variabilelor aleatorii ce reprezintă numărul de întreruperi ale fiecărui element în parte.

$$\nu_s(t) = \nu_1(t) + \nu_2(t) + \ldots + \nu_N(t).$$

Deoarece elementele schemei funcționează independent unele de altele, variabilele aleatorii $\nu_1(t), \ldots \nu_n(t)$ sînt variabile aleatorii independente și, conform teoremei prezentate, legea de repartiție a variabilei $\nu_s(t)$ este legea Poisson cu parametrul ,,suma parametrilor legilor corespunzătoare variabilelor''

$$\nu_1(t), \ldots \nu_N(t).$$

Deci o schemă cu elementele conectate în serie o putem considera ca un element caracterizat printr-un număr de întreruperi $\nu_s(t)$, care urmează legea de repartiție Poisson cu parametrul

$$\lambda_s = \lambda_1 + \lambda_2 + \ldots + \lambda_N.$$

Prin metodele de calcul cunoscute [3] se calculează de obicei pentru o schemă numărul mediu de întreruperi într-un anumit interval de timp $t$, adică se calculează de fapt valoarea medie $M[\nu_s(t)]$ a variabilei $\nu_s(t)$.

Conform celor arătate referitor la proprietățile repartiției Poisson, această valoare, rezultată din calculele de siguranță, corespunde probabilității maxime de realizare, adică am putea spune că este valoarea cea mai probabilă a se realiza.

Cu toate acestea însă, se observă că în funcție de mărimea valorii medii ($\lambda t$), curba densității de repartiție a numărului de întreruperi este mai mult sau mai puțin aplatizată în jurul acestei valori, ceea ce înseamnă că în unele cazuri, cu probabilități apropiate de cea maximă, se pot realiza și alte valori ale variabilei aleatorii $\nu(t)$, în afara valorii medii, aspect cu atît mai accentuat cu cît ($\lambda t$) este mai mare.

Spre exemplificare se trasează în figura 1 cîteva curbe de densitate de repartiție, pentru diverse mărimi ale valorii medii ($\lambda t$).

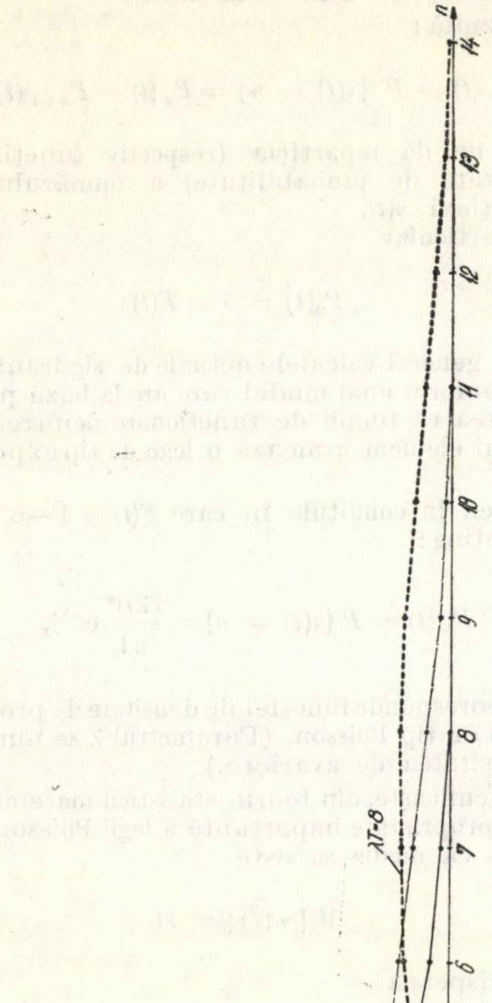


Fig. 1

Acest aspect ar conduce la concluzia că, în anumite situații, valoarea medie a numărului de întreruperi nu este suficient de semnificativă pentru aprecierea schemei din acest punct de

vedere, deoarece, după cum s-a arătat și după cum rezultă din curbele prezentate, există, în afara acestei valori medii, și alte valori probabile ale numărului de întreruperi, valori care se pot realiza cu probabilități foarte apropiate de probabilitatea maximă corespunzătoare valorii medii.

Avînd în vedere acest fapt, se apreciază că în asemenea cazuri, pentru a se da informații cît mai complete asupra comportării schemei din punctul de vedere considerat, este util să se prezinte, în afara valorii medii, însăși curba densității de repartiție a numărului de întreruperi, din care beneficiarul calculului de siguranță poate să desprindă o grupare de valori în jurul valorii medii, care reprezintă valori ale numărului de întreruperi cu probabilități de realizare apropiate de cea maximă — valori care pot fi luate în considerare în aprecierea siguranței în funcționare a schemei.

Din figura 1 se poate trage concluzia că, pentru valori $(\lambda t) > 3$, necesitatea trasării curbei densității de repartiție este evidentă. De exemplu din figura 1 se vede că, pentru $(\lambda t)=3$, probabilitățile de apariție a 2, 3, 4 defecte sînt foarte apropiate.

Se menționează că valori mari pentru $(\lambda t)$ se obțin atunci cînd pentru valori ale lui $\lambda$ dat se face calcul pentru perioade mai mari de timp sau calculul se face pentru o schemă în care însăși $\lambda$ rezultă mare.

Pentru $(\lambda t)$ stabilit, trasarea curbelor din figura 1 se face pe baza tabelelor funcției de distribuție Poisson.

**2. Semnificația valorii medii a numărului de întreruperi pentru elemente cu timp de reparație $t_d \neq 0$**

După cum s-a arătat la început, toate raționamentele s-au făcut pentru cazul în care elementele luate în considerare se repun în funcțiune în urma unui defect, după un timp $t_d \approx 0$. În cazul în care acest timp este diferit de zero, așa cum se întîmplă în realitate în instalațiile energetice, concluziile diferă cu atît mai mult cu cît raportul dintre durata repunerii în funcțiune în urma unui defect și durata funcționării neîntrerupte $\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)$ este mai mic.

a) În prima parte a acestui material s-a considerat viața unui element ca o succesiune de perioade de funcționare delimitate de momentele restabilirilor elementului, restabilirile realizîndu-se într-un timp $t_d = 0$. În acest caz s-a studiat variabila aleatorie — perioada de funcționare neîntreruptă și, acceptînd ipoteza că ea urmează o lege de distribuție exponențială, s-a ajuns la concluzia că fluxul defecțiunilor (al restabilirilor), respectiv variabila aleatorie $\nu(t)$ urmează o lege Poisson.

Dacă însă pentru remedierea unei defecțiuni este necesar un anumit timp $t_d \neq 0$, atunci viața elementului este o succesiune de perioade de funcționare și de defect.

Considerînd perioadele de timp formate dintr-o perioadă de funcționare și una de defect, se observă că ele sînt delimitate prin înseși momentele restabilirilor.

Considerăm această variabilă aleatorie, pe care o notăm cu $\tau_i$, formată din variabila aleatorie $t_{fi}$ (perioadă de funcționare) și $t_{di}$ (perioadă de defect).

$$\tau_i = t_{fi} + t_{di}.$$

Făcîndu-se un studiu asupra variabilei aleatorii $\tau_i$ — studiu similar cu cel expus anterior — se obțin relații asemănătoare relațiilor (1), (2) pentru acest caz, și anume se găsește că probabilitatea ca la momentul $t$ să se producă cea de-a $n$-a restabilire ($n$ defecțiuni) este dată de relația (7) [1]:

$$P_n(t) = P\{\nu(t) = n\} = \Phi_n(t) - \Phi_{n+1}(t), \quad (7)$$

unde $\Phi(t)$ este funcția de repartiție a variabilei aleatorii $t_n$.

$$\begin{aligned} t_n &= t_{nf} + t_{nd} \\ t_{nf} &= t_{f1} + t_{f2} + t_{fi} + \ldots + t_{fn} \\ t_{nd} &= t_{d1} + t_{d2} + t_{di} + \ldots + t_{dn} \end{aligned} \quad (8)$$

De fapt $P_n(t)$ reprezintă funcția de densitate de probabilitate a variabilei aleatorii număr de defecțiuni — $\nu(t)$.

Considerînd că variabilele aleatorii $t_{fi}$ și $t_{di}$ sînt identic distribuite după legi exponențiale, respectiv:

$$\begin{aligned} &t_{fi} \text{ are funcție de repartiție } F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \\ &t_{di} \text{ are funcție de repartiție } G(t) = 1 - e^{-\mu t} \end{aligned} \quad (9)$$

nu se mai obține pentru $P_n(t)$ expresia legii Poisson — relația (3) — ci o expresie care diferă de funcția corespunzătoare legii Poisson, prin anumiți termeni care tind la zero, cînd timpul de reparație tinde la zero ($\mu \to \infty$) și care în general nu contribuie cu mult la valoarea funcției.

Se obține, de asemenea, expresia valorii medii a numărului de defecțiuni [3]:

$$M_1[\nu(t)] = \frac{\lambda^2}{(\lambda+\mu)^2} + \frac{\lambda\mu t}{\lambda+\mu} - \frac{\lambda^2 - (\lambda+\mu)t}{(\lambda+\mu)^2} \quad (10)$$

în cazul în care se consideră că se începe observaţia cu instalaţia în stare de funcţionare, respectiv :

$$M_2[\nu(t)] = \frac{-\lambda\mu}{(\lambda+\mu)^2} + \frac{\lambda\mu t}{\lambda+\mu} + \frac{\lambda\mu e^{-(\lambda+\mu)t}}{(\lambda+\mu)^2} \quad (11)$$

în cazul în care se consideră că la momentul $t = 0$ instalaţia este în stare de defect.

În cazul unor perioade mari de timp, trecîndu-se la limită în aceste expresii, se obţin relaţiile care se utilizează de obicei în calculele de siguranţă pentru obţinerea numărului mediu de întreruperi [4] :

$$M_1[\nu(t)] = M_2[\nu(t)] = \frac{\lambda\mu}{\lambda+\mu} T \quad (12)$$

Deci se observă că relaţia de calcul diferă de relaţia exactă obţinută (10) şi (11) prin primul şi al treilea termen, care sînt practic nuli.

b) Considerăm un interval $t$, format dintr-o perioadă de funcţionare $t_1$ şi o perioadă de nefuncţionare $t_2$

$$0 \xrightarrow{\quad t_1 \qquad t_2 \quad} t$$

Fie un element cu intensitatea de avariere $\lambda$ şi intensitatea de reparaţie $\mu$. Pentru simplificare considerăm :

$$\lambda = \frac{1}{t_1} \qquad \mu = \frac{1}{t_2}$$

Presupunem că, şi în cazul elementelor care se repară, fluxul defecţiunilor urmează o lege Poisson. În acest caz ar însemna că există o constantă $\Lambda$ (parametrul acestei legi) şi numărul mediu de întreruperi pe intervalul $t_1 + t_2$ este dat de relaţia :

$$n_{(t_1+t_2)} = \Lambda \cdot (t_1 + t_2) \quad (13)$$

Punem condiţia ca numărul mediu de întreruperi pe acest interval să fie 1.

$\Lambda(t_1 + t_2) = 1$, ceea ce se mai poate scrie :

$$\Lambda\left(\frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\mu}\right) = 1 \quad (14)$$

$$\Lambda = \frac{\lambda\mu}{\lambda+\mu}$$

Pentru o perioadă de timp $T$, numărul mediu de defecţiuni va fi :

$$n = \Lambda \times T$$

$$n = \frac{\lambda \cdot \mu}{\lambda+\mu} T, \text{ relaţie similară cu (12).} \quad (15)$$

În cazul în care timpul mediu al unui defect este foarte mic în raport cu timpul de funcţionare $\left(\frac{\lambda}{\mu} \to 0\right)$, relaţia de mai sus devine :

$n = \lambda T$, adică se revine la cazul în care $t_2 = 0$.

Presupunerea făcută, însă, nu poate fi utilizată în toate cazurile, deoarece a admite existenţa unui flux Poisson al defecţiunilor unui element care se repară este echivalent cu a admite legea exponenţială pentru duratele perioadelor de timp de tipul $t_1 + t_2$, ceea ce este incorect, mai ales pentru perioade de defect $t_2$ mari.

Deoarece însă, în cazurile practice din instalaţiile electrice, rapoartele $\lambda/\mu$ sînt foarte mici, se poate conchide că în general putem admite această presupunere, nu pentru a o utiliza în calcule, ci pentru a accepta concluziile care au rezultat la punctul 1 în legătură cu cantitatea mică de informaţie pe care o poate oferi media numărului de întreruperi în calculele de siguranţă.

**Exemplu**

Pentru exemplificare se va considera o schemă de alimentare a unui consumator printr-o singură cale (fig. 2 *a*).

Schema echivalentă de calcul este dată în figura 2 *b*, în aceeaşi figură fiind indicaţi şi parametrii de siguranţă $\lambda$ şi $\mu$ ai elementelor componente ale schemei pe care le considerăm independente din punct de vedere statistic.

Numărul $n$ de defecte se determină din relaţia cunoscută [4] :

$$M[\nu(t)] = n = P_s \lambda_s \cdot T,$$

în care

$P_s = \prod_1^n P_i$ este probabilitatea de funcţionare a schemei cu elemente conectate în serie ;

$\lambda_s = \sum_1^n \lambda_i$ — intensitatea de avarie a seriei ;

$T$ — timpul de observaţie (1 an).

Introducînd valorile din figura 2, se obţine :

$$M[\nu(t)] = n = 3 \text{ defecte/an.}$$

Pentru numărul $n = 3$ obţinut, ne uităm pe curba $\lambda T = 3$ din figura 1 (deoarece $\lambda T$ reprezintă valoarea medie a numărului de întreruperi) care reprezintă densitatea de distribuţie $P = f(n)$ pentru $\lambda T = 3$ (probabilitatea de a avea $n$ întreruperi în funcţie de numărul întreruperilor).

Din cercetarea curbei rezultă că :

— cu aceeaşi probabilitate se pot produce şi $n = 2$ defecte/an ;

— cu probabilităţi foarte apropiate se pot produce $n = 1$, $n = 4$ şi $n = 5$ defecte/an.

În consecinţă, numărul $n = 3$ defecte/an, determinat ca mai sus, nu prezintă o informaţie suficient de concludentă, şi, dacă numărul de defecte/an interesează, atunci este recomandabil a se trasa curba reprezentînd distribuţia numărului de defecte.

Rezultă evident că pentru un consumator interesat în numărul de defecte într-un anumit interval de timp, compararea între două tipuri de scheme de alimentare cu ajutorul distribuţiei numărului de defecte poate fi mult mai concludentă decît compararea valorilor medii ale numărului de defecte stabilit prin calcul.

Este necesar a se observa că asemenea aspecte la determinarea numărului mediu de defecte/an apar în general în cazurile în care schema studiată este o schemă compusă dintr-o serie simplă şi cu multe elemente sau din mai puţine dar de calitate slabă.

Utilitatea determinării în asemenea cazuri a curbei de densitate de repartiţie $P = f(n)$ este demonstrată şi de posibilitatea de a se interpreta această curbă şi în sensul stabilirii unei curbe de apariţie a evenimentelor (a căderilor).

Pentru exemplul studiat, în care s-a presupus viaţa instalaţiei ca fiind egală cu 20 de ani, se poate trasa curba din figura 3, avînd aceeaşi alură ca şi curba din figura 1, în care însă ordonata reprezintă numărul de ani în care se realizează numărul de defecte $n$, aflat pe abscisă.

Din această curbă rezultă deci că din 20 de ani de viață a instalației în 4 ani se realizează 3 defecte/an (deci media), iar într-unul din ani se vor realiza chiar 6 defecte.

În cazul în care schema ar fi condus la un număr mediu de defecte egal cu 8, în aceleași condiții ca mai sus, numărul de 8 defecte într-un an (reprezentînd media) s-ar întîlni într-un număr de circa 3 ani, din 20, 7 defecte pe an într-un număr de 3 ani, 6 și 9 defecte în circa 2 ani etc.

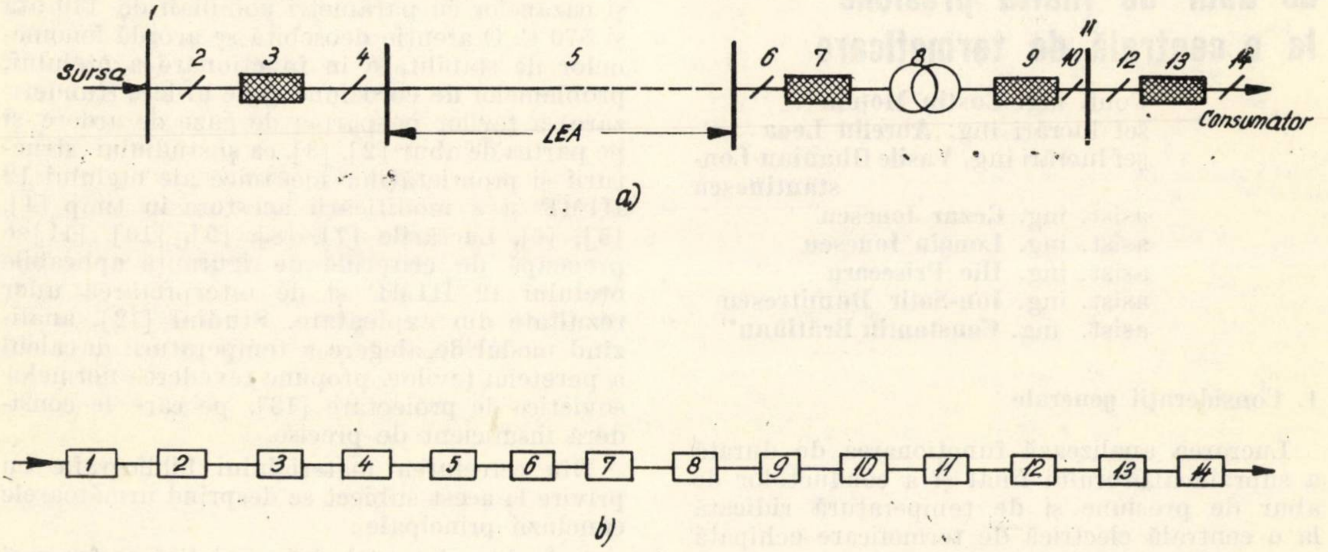



Fig. 2

$\lambda_1=0,3$ an$^{-1}$; $\mu_1=1000$ an$^{-1}$; $\lambda_2=\lambda_4=\lambda_6=0,08$ an$^{-1}$; $\mu_2=\mu_4=\mu_6=1200$ an$^{-1}$; $\lambda_3=\lambda_7=0,4$ an$^{-1}$; $\mu_3=\mu_7=500$ an$^{-1}$; $\lambda_5=0,25$ an$^{-1}$; $\mu_5=1000$ an$^{-1}$; $\lambda_8=0,10$ an$^{-1}$; $\mu_8=20$ an$^{-1}$; $\lambda_9=\lambda_{13}=0,5$ an$^{-1}$; $\mu_9=\mu_{13}=1500$ an$^{-1}$; $\lambda_{10}=\lambda_{12}=\lambda_{14}=0,1$ an$^{-1}$; $\mu_{10}=\mu_{12}=\mu_{14}=1300$ an$^{-1}$; $\lambda_{11}=0,2$ an$^{-1}$; $\mu_{11}=1100$ an$^{-1}$.

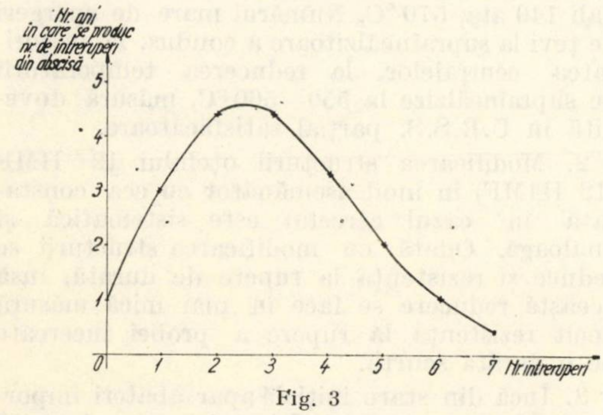



Fig. 3

## Concluzii

Din materialul prezentat se pot desprinde următoarele concluzii :

1. Cu cît o schemă este formată din elemente avînd o intensitate de avariere λ mai mică, cu atît rezultatele obținute pentru același interval de timp pot fi considerate mai concludente.

2. Pentru valori ($\lambda t$) mari, care se întîlnesc în general în cazul unei serii formate din mai multe elemente, este interesant ca, pe lîngă indicarea valorii medii a numărului de defecte, calculate conform metodologiei de calcul cunoscute [3], [4], să se dea și anumite informații în legătură cu distribuția probabilităților numărului de întreruperi (eventual curba acestei distribuții), acestea ilustrînd mai bine calitățile unei scheme.

3. Semnificația valorii medii a numărului de întreruperi scade în cazul în care pentru un λ dat al instalației se face calculul pentru o perioadă mai mare de timp.

4. Este util ca, la stabilirea indicatorilor de siguranță, care servesc la preluarea unor garanții din partea furnizorului de energie, să se țină seama de aspectele arătate referitor la numărul mediu de întreruperi ale unei scheme de alimentare cu energie.

**Bibliografie**


[1] Gnedenko, B. V., Beleaev, I. K. și Soloviev, A. D. *Metode matematice în teoria siguranței.* Editura tehnică, București, 1968.

[2] Feller, W. *An introduction to probability theory and applications.* New York, John Wiley, Pres., 1957.

[3] Nitu, V., Albert, H. și Brădescu, M. *Metode statistico-probabilistice utilizate în energetică.* Editura tehnică, București, 1968.

[4] Nitu, V. I., Oprișan, Gh., Petrescu, A. M., Pipa, G. și Stein, M. *Contribuții la stabilirea unei metodologii de calcul în alegerea schemelor electrice optime pentru centralele electrice.* În: Energetica, nr. 4, 1971.

[5] Cox, D. R. *Renewal Theory.* John Wiley and Sons Inc., New York, 1962.



**(Articol intrat în redacție la 7 iulie 1972)**

# Influența temperaturii inițiale asupra condițiilor de funcționare a supraîncălzitorului și a conductelor de abur de înaltă presiune la o centrală de termoficare

Conf. ing. **Costin Moțoiu**
șef lucrări ing. **Aureliu Leca**
șef lucrări ing. **Vasile Ohanian-Constantinescu**
asist. ing. **Cezar Ionescu**
asist. ing. **Longin Ionescu**
asist. ing. **Ilie Prisecaru**
asist. ing. **Ion-Sotir Dumitrescu**
asist. ing. **Constantin Brătianu***)

## 1. Considerații generale

Lucrarea analizează funcționarea de durată a supraîncălzitorului final și a conductelor de abur de presiune și de temperatură ridicată la o centrală electrică de termoficare echipată cu cazane de abur TGM-84-3 și turbine VPT-50-3, VPT-50-4 și R-50. În ultima perioadă a celor aproximativ 63 000 ore de funcționare a acestor instalații s-a înregistrat un număr de spargeri de țevi ale supraîncălzitorului convectiv al unuia dintre cazanele menționate, fenomen care s-a intensificat în timp. După ce s-a adoptat coborîrea temperaturii aburului viu de la 570 la 555 °C și funcționarea cazanului la sarcină parțială, frecvența avariilor la supraîncălzitor nu s-a redus cu mult.

În aceste condiții s-au considerat necesare determinarea caracteristicilor mecanice ale oțelului țevilor părții de înaltă presiune și temperatură — oțel cu Cr, Mo, V de tip 12 HMF (12 H1MF), după GOST 4543-57 — și cercetarea efectelor produse de reducerea temperaturii aburului supraîncălzit pînă la un nivel optim, la care funcționarea să devină sigură.

Apreciind drept cauză principală a situației create comportarea necorespunzătoare a oțelului, s-a efectuat o trecere în revistă a datelor privind funcționarea și măsurile luate pentru echipamente similare în străinătate.

În literatura tehnică consultată s-au găsit mai multe lucrări care analizează cauzele avariilor supraîncălzitoarelor de abur cu parametri ridicați, privind starea țevilor supraîncălzitoarelor și a conductelor la cazanele de înaltă presiune, studii legate de proprietățile mecanice și comportarea în timp a oțelurilor utilizate sau relativ la măsurile adoptate pentru remedierea defectelor. Dintre acestea s-au selecționat 12 lucrări care se referă exclusiv la cazanele TGM-84 și la oțelul folosit în aceasta 12 HMF (12 H1MF).

În lucrarea [1] se analizează un număr mare de instalații din U.R.S.S. și se conchide asupra cauzelor avariilor supraîncălzitoarelor de abur și cazanelor cu parametri nominali de 140 ata și 570°C. O atenție deosebită se acordă fenomenelor de stabilitate în funcționare a oțelului, problemelor de coroziune și de ardere (țunderizare) a țevilor pe partea de gaze de ardere și pe partea de abur [2], [3], ca și studiului structurii și proprietăților mecanice ale oțelului 12 H1MF și a modificării acestora în timp [4], [5], [6]. Lucrările [7], [8], [9], [10], [11] se preocupă de criteriile de siguranță aplicabile oțelului 12 H1MF și de interpretarea unor rezultate din exploatare. Studiul [12], analizînd modul de alegere a temperaturii de calcul a peretelui țevilor, propune revederea normelor sovietice de proiectare [13], pe care le consideră insuficient de precise.

Din cercetarea materialului bibliografic cu privire la acest subiect se desprind următoarele concluzii principale:

1. În literatura tehnică sovietică se fac mai multe mențiuni privind comportarea nesatisfăcătoare a oțelului 12 H1MF în supraîncălzitoarele cazanelor de abur cu parametri nominali 140 ata, 570 °C. Numărul mare de spargeri de țevi la supraîncălzitoare a condus, la majoritatea centralelor, la reducerea temperaturii de supraîncălzire la 550—560 °C, măsură dovedită în U.R.S.S. parțial satisfăcătoare.

2. Modificarea structurii oțelului 12 HMF (12 H1MF) în mod asemănător cu cea constatată în cazul cercetat este sistematică și analoagă. Odată cu modificarea structurii se reduce și rezistența la rupere de durată, însă această reducere se face în mai mică măsură decît rezistența la rupere a probei încercate pe o durată scurtă.

3. Încă din stare inițială apar abateri importante de structură și de rezistență, datorită neuniformității loturilor de materie primă și tratamentului termic. În numeroase cazuri diferențele de stare inițială sînt de același ordin de mărime ca efectul de coborîre a rezistenței în timp în raport cu rezistența medie indicată de norme (GOST).

4. Proprietățile mecanice ale oțelului 12 H1MF limitează folosirea lui pentru temperaturi ale metalului de cel mult 585 °C. Depășirea temperaturii de 590 °C în metal produce o îmbătrînire rapidă a oțelului, reducerea indicilor de rezistență și a duratei de funcționare.

5. Există critici argumentate la adresa normelor în vigoare privind calculul de rezistență al elementelor de cazane. În acest sens, cercetările recente au arătat coroziuni pe partea de abur și de gaze de ardere sensibil mai mari decît

---

*) Autorii sînt cadre didactice la Institutul politehnic din București, catedra de centrale electrice.

valorile recomandate prin norme; de asemenea, temperaturile de calcul ale metalului peretelui trebuie reconsiderate. Aceste elemente au dus la o subdimensionare a ţevilor supraîncălzitoarelor de abur.

6. În exploatare nu se realizează un control şi o evidenţă a regimului de temperaturi al supraîncălzitorului de abur.

7. Este necesar să se reanalizeze repartiţia debitelor de abur prin supraîncălzitor pentru reducerea neuniformităţilor regimului termic.

## 2. Analiza situaţiei de exploatare

Pe parcursul perioadei calendaristice considerate de 8 ani şi 9 luni, totalizînd aproximativ 76 500 ore, cazanul de abur a funcţionat circa 63 000 ore; în ultimele aproximativ 12 000 ore de funcţionare, temperatura aburului viu a fost coborîtă succesiv pînă la valoarea de 555°C, iar debitul mediu de abur a variat în domeniul 67—75% din debitul nominal.

Din analiza datelor de exploatare înregistrate s-au evidenţiat 34 opriri de avarie pe durata ultimelor circa 44 000 ore calendaristice, toate fiind cauzate de spargeri de ţevi ale supraîncălzitorului convectiv. Cazanul a avut în primii ani o funcţionare deosebită de a celorlalte instalaţii, îndeplinind funcţia de cazan de vîrf. În perioada în care numărul crescător de avarii a redus simţitor disponibilitatea lui, s-a renunţat la acest lucru. Din anul 6 de la punerea în funcţiune se remarcă o creştere sistematică a numărului de avarii (fig. 1). Ca urmare, la sfîrşitul anului 7 s-a făcut o primă reducere a temperaturii aburului viu cu 10 grd, urmată la mai puţin de un an de o majorare a acesteia la 15 grd. Reducerile de temperatură nu au diminuat cu mult numărul de avarii.

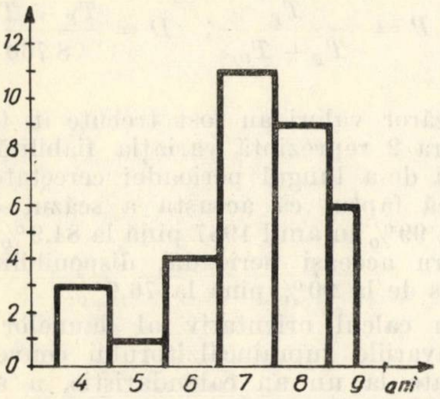



Fig. 1. Variaţia în timp a numărului de avarii la supraîncălzitorul convectiv.

Calculul indicilor de siguranţă a funcţionării cazanului a avut ca model matematic evoluţia elementului simplu cu timp finit de restabilire [14]. Deoarece avariile supraîncălzitorului convectiv conduc la oprirea instalaţiei, cunoaşterea evoluţiei comportării acestuia permite determinarea indisponibilităţii cazanului cauzată de supraîncălzitorul convectiv.

Stările supraîncălzitorului sînt redate de o succesiune de perioade de funcţionare şi de reparaţie. Timpul anual de observaţie $T_T = 8\,760$ ore reprezintă o sumă a duratelor perioadelor de funcţionare ($T_F$), a perioadelor de reparaţie rezultate din opririle forţate ($T_{OF}$), a perioadelor de reparaţie afectate opririlor planificate ($T_{OP}$) şi a perioadelor de rezervă statică ($T_{RS}$), conform relaţiei:

$$T_T = 8760 = T_F + T_{OF} + T_{OP} + T_{RS} \text{ [h]}. \quad (1)$$

În tabelul 1 sînt trecute duratele perioadelor de mai sus, pentru un timp total de observaţie de 5 ani (din anul 4 de funcţionare pînă în anul 8 inclusiv).

Intensitatea de defectare $\lambda$ se defineşte prin expresia:

$$\lambda = \frac{n}{3\,600\,T_F} \text{ [s}^{-1}\text{]}, \quad (2)$$

iar intensitatea de restabilire (reparaţie) $\mu$ prin:

$$\mu = \frac{n}{3\,600\,T_{OF}} \text{ [s}^{-1}\text{]}, \quad (3)$$

în care $n$ reprezintă numărul de avarii în perioada considerată.

În tabelul 1 sînt date de asemenea valorile lui $\lambda$ şi $\mu$. Din evoluţia acestora se poate trage concluzia că $\lambda$ are în ultimii ani de funcţionare o variaţie pronunţat exponenţială şi că reducerea temperaturii aburului supraîncălzit nu a putut opri acest caracter de variaţie. Această constatare vine în sprijinul ipotezei că materialul ţevilor a atins stadiul de îmbătrînire în care se înregistrează o micşorare apreciabilă a rezistenţei mecanice; în aceste condiţii reducerea temperaturii aburului viu influenţează puţin intensitatea de avarie.

Durata medie a unei perioade de funcţionare $M(T_F)$ şi a unei perioade de restabilire $M(T_{OF})$ se definesc respectiv prin relaţiile:

$$M(T_F) = \frac{1}{\lambda} \text{ [h]}; \; M(T_{OF}) = \frac{1}{\mu} \text{ [h]}; \quad (4)$$

valorile acestora sînt trecute în tabelul 1. Se observă că valoarea medie a timpului de funcţionare între două avarii este scăzătoare, înregistrînd în anii de funcţionare 7 şi 8 valorile cele mai coborîte, respectiv 613 şi 764 h/an.

Pentru calculul timpului total mediu de funcţionare şi de restabilire (reparaţie) pe perioada cercetată de 5 ani, s-au utilizat valo-

Tabelul 1

**Intensitățile de avarie și reparație, indicii globali de siguranță ai cazanului**

| Mărimea | Unitatea de măsură | Anul de funcționare | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9<br>6 (luni) |
| $T_F$ | h/an | 7050 | 7054 | 7403 | 6750 | 6913 | 4139 |
| $T_{OF}$ | h/an | 177 | 111 | 198 | 433 | 437 | 241 |
| $T_{OP}$ | h/an | 1533 | 1329 | 693 | 698 | 513 | 0 |
| $T_{RS}$ | h/an | 0 | 266 | 465 | 879 | 898 | 0 |
| $n$ | — | 3 | 1 | 4 | 11 | 9 | 6 |
| $\lambda$ | $10^6 \cdot s^{-1}$ | 0,118 | 0,0394 | 0,15 | 0,453 | 0,362 | 0,404 |
| $\mu$ | $10^6 \cdot s^{-1}$ | 4,71 | 2,5 | 5,62 | 6,75 | 5,47 | 6,92 |
| $M(T_F)$ | ore | 2340 | 7054 | 1850 | 613 | 767 | — |
| $M(T_{OF})$ | ore | 58,9 | 177 | 49,4 | 41 | 50,7 | — |
| $P$ | % | 97,7 | 98,5 | 97,5 | 94 | 84,9 | — |
| $D$ | % | 80,5 | 83,5 | 90 | 87 | 79,9 | — |

rile medii ale intensității de defectare și de reparație pe această perioadă: $\lambda = 0,231 \cdot 10^{-6}\,s^{-1}$ și $\mu = 5,85 \cdot 10^{-6}\,s^{-1}$, cu care s-au determinat respectiv $M(T_F) = 1\,200$ h și $M(T_{OF}) = 47,5$ h.

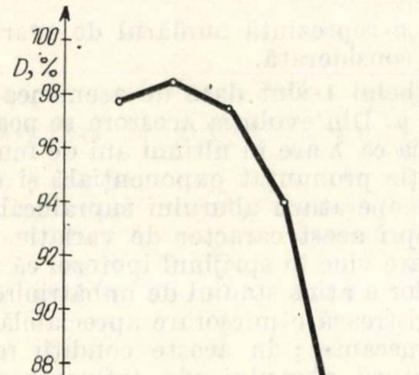



Fig. 2. Variația fiabilității cazanului.

Modelul matematic folosit reprezintă aproximarea evoluției supraîncălzitorului convectiv cu un lanț Markov omogen, staționar, cu două stări: starea de funcționare și starea de restabilire [15]. Timpul total mediu de funcționare $\alpha(T)$ și de reparație $\beta(T)$ de-a lungul intervalului, $T = \sum_{i=4}^{8} (T_F + T_{OF})_i = 36\,546$ h, se calculează din expresiile:

$$\alpha(T) = \frac{\mu}{\lambda + \mu}\,T = 35\,150 \text{ h};$$

$$\beta(T) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}\,T = 1\,392 \text{ h}. \tag{5}$$

Ca indici globali de siguranță ai cazanului s-au calculat indicele de fiabilitate $P$ și disponibilitatea $D$ a instalației, cu ajutorul relațiilor:

$$P = \frac{T_F}{T_F + T_{OF}}; \quad D = \frac{T_F + T_{RS}}{8\,760}, \tag{6}$$

ale căror valori au fost trecute în tabelul 1. Figura 2 reprezintă variația fiabilității cazanului de-a lungul perioadei cercetate. Se remarcă faptul că aceasta a scăzut continuu, de la 99% în anul 1967 pînă la 84,9% în 1970; pentru aceeași perioadă, disponibilitatea s-a redus de la 90% pînă la 76,9%.

Un calcul orientativ al daunelor produse de avariile supraîncălzitorului convectiv, raportate la un an calendaristic, a arătat că debitul de abur nelivrat ca urmare a reducerii disponibilității cazanului este de ordinul a 115 000 t/an, iar costul reparațiilor anuale cauzate de opririle forțate este de aproximativ 15 600 lei/an (s-au estimat cheltuielile pentru înlocuirea unei țevi defecte la supraîncălzitor la aproximativ 2 600 lei și un număr mediu de avarii de 6 pe an). În aceste calcule nu s-au considerat daunele la consumatorii de căldură

prin nelivrare de abur şi nici consumul suplimentar de combustibil pentru pornirile produse de opririle forţate.

### 3. Influenţa temperaturii aburului supraîncălzit asupra indicilor de funcţionare a centralei

În funcţie de modificarea temperaturii iniţiale a aburului supraîncălzit, s-a urmărit variaţia următorilor indici caracteristici ai centralei [16]:

— consumul specific de combustibil pentru producerea energiei electrice în regim de termoficare, $b_T^{ee}$ [g c.c./kWh];

— consumul specific de combustibil pentru producerea energiei electrice în regim de condensaţie, $b_C^{ee}$ [g c.c./kWh];

— consumul specific de combustibil pentru producerea energiei termice, $b^{et}$ [g c.c./kWh];

— indicii de termoficare, $y_p$ [kWh/Gcal].

În efectuarea calculelor au fost admise următoarele ipoteze:

a) Efectul temperaturii asupra indicilor de funcţionare a centralei se exprimă în valori absolute şi relative, în raport cu regimul nominal de calcul, într-un interval de variaţie a temperaturii aburului supraîncălzit de 570—500°C.

b) Variaţia temperaturii în intervalul de valori menţionat conduce la modificarea regimului termic al cazanului; acest lucru se reflectă însă în valoarea randamentului cazanului prin diferenţe ce pot fi neglijate, motiv pentru care acest randament a fost considerat constant. În mod asemănător au fost aproximate prin valori medii constante pierderile de căldură prin izolaţia termică, randamentul mecanic al grupului şi randamentul electric al generatorului.

c) Pentru efectuarea calculului s-au folosit datele corespunzătoare situaţiei existente în centrală privind grupurile VPT-50-3, VPT-50-4,R-50 şi cazanul TGM-84-3.

d) În cazul menţinerii unui acelaşi regim hidraulic prin turbină şi al variaţiei temperaturii iniţiale în limitele considerate, se poate aproxima că atît randamentul intern cît şi presiunile la prize sînt constante [17]; de asemenea rămîn constante debitele relative corespunzătoare prizelor circuitului regenerativ al turbinelor. Valorile entalpiilor la prize, în cazul variaţiei de temperatură a aburului viu, s-au citit din diagrama $i—s$ după trasarea proceselor termice respective.

Efectuarea calculelor în ipotezele de mai sus a evidenţiat următoarele valori practic constante, neafectate de modificarea temperaturii aburului supraîncălzit în intervalul considerat:

— consumul specific de combustibil pentru producerea energiei electrice în regim de termoficare, $b_T^{ee}$ = 145 g c.c./kWh;

— consumul specific de combustibil pentru producerea energiei termice, $b^{et}$ = 157,4 g c.c./kWh.

Figurile 3,4 şi 5 prezintă variaţia consumului specific de combustibil $b_C^{ee}$ şi a indicilor de termoficare pentru priza de termoficare urbană şi, corespunzător, pentru prizele de termoficare industrială, în funcţie de temperatura iniţială a aburului. Figurile 3 — 5 pun în evidenţă calitativ şi cantitativ creşterea consumului specific de combustibil $b_C^{ee}$ pentru turbinele VPT-50-3 şi VPT-50-4 şi scăderea indicilor de termoficare industrială şi urbană $y_p$ pentru toate turbinele centralei, înrăută-

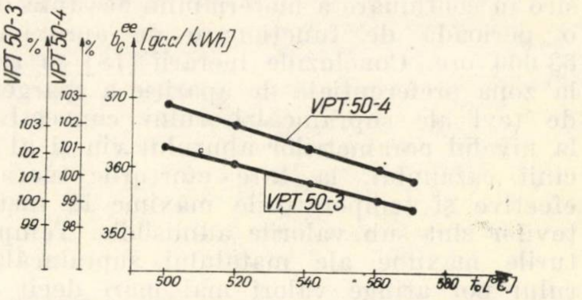



Fig. 3. Variaţia consumului specific de combustibil pentru producerea energiei electrice în regim de condensaţie.

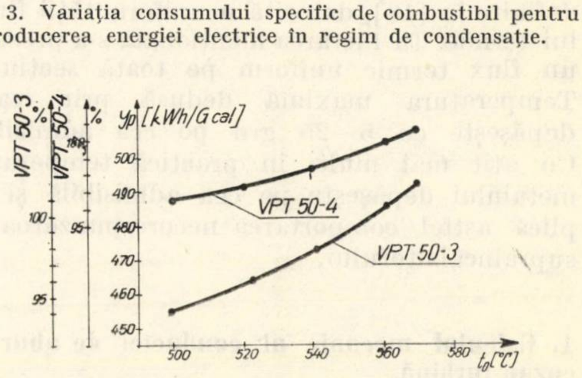



Fig. 4. Variaţia indicelui de termoficare pentru priza de termoficare urbană.

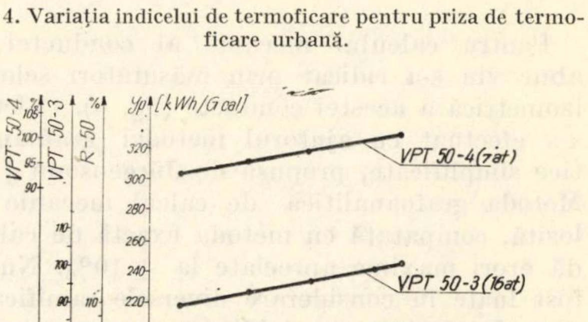



Fig. 5. Variaţia indicelui de termoficare pentru prizele de termoficare industrială.

ţiri accentuate pe măsura reducerii temperaturii aburului supraîncălzit.

S-a analizat de asemenea modificarea umidităţii finale a aburului la turbinele VPT-50-3 şi VPT-50-4 cu variaţia temperaturii iniţiale a aburului. Datorită condiţiilor specifice de răcire ale centralei şi regimurilor anuale de func-

ţionare a instalaţiilor s-a ajuns la concluzia că se asigură o umiditate finală mai mică decît valoarea maximă admisibilă de 13% pentru o reducere a temperaturii iniţiale pînă la 540°C.

Studiul regimului termic şi mecanic al supraîncălzitorului convectiv al cazanului TGM-84-3, în condiţiile coborîrii temperaturii aburului viu şi sarcinii cazanului, a fost făcut în lucrarea [18], care a efectuat calculul schimbului de căldură şi a stabilit distribuţia temperaturii şi a solicitărilor mecanice în ţevile supraîncălzitorului, în vederea determinării condiţiilor de rezistenţă şi a posibilităţilor de folosire în continuare a materialului acestora după o perioadă de funcţionare de aproximativ 63 000 ore. Concluziile lucrării [18] se referă la zona preferenţială de apariţie a spargerilor de ţevi ale supraîncălzitorului convectiv şi la nivelul parametrilor aburului viu şi al sarcinii cazanului, la care eforturile mecanice efective şi temperaturile maxime în metalul ţevilor sînt sub valorile admisibile. Temperaturile maxime ale matalului supraîncălzitorului pot atinge valori mai mari decît cele definite în [18], datorită neuniformităţii fluxului termic. În lucrarea menţionată s-a presupus un flux termic uniform pe toată secţiunea. Temperatura maximă dedusă prin calcul depăşeşte cu 5–25 grd pe cea admisibilă. Cu atît mai mult, în practică temperatura metalului depăşeşte pe cea admisibilă şi explică astfel comportarea necorespunzătoare a supraîncălzitorului.

## 4. Calculul mecanic al conductei de abur viu cazan-turbină

Pentru calculul mecanic al conductei de abur viu s-a ridicat prin măsurători schema izometrică a acestei conducte (fig. 6). Calculul s-a efectuat cu ajutorul metodei grafoanalitice simplificate, propusă de Jürgensonn [19]. Metoda grafoanalitică de calcul mecanic folosită, comparată cu metoda exactă de calcul, dă erori maxime apreciate la $\pm 10\%$. Nu au fost luate în considerare diversele ramificaţii, care determinau o rigidizare a conductei în punctele respective; de asemenea, calculul a fost făcut fără a se recurge la aproximarea traseelor curbe cu linii drepte.

Traseul conductei a fost împărţit în 24 de tronsoane notate în figura 6 de la 1 la 24, iar calculele au fost făcute pentru 25 de puncte notate de la *a* la *z*. Pentru fiecare din aceste puncte au fost determinate, într-un sistem de referinţă convenabil ales, mărimea forţelor şi momentelor de încovoiere şi de torsiune care acţionează. În continuare s-a calculat solicitarea totală, compusă din solicitările datorită eforturilor de compensaţie şi datorită presiunii interioare, după teoria a 4-a de rupere din rezistenţa materialelor [20]. În fiecare din cele 25 de puncte s-a determinat efortul unitar total (redus) pentru suprafaţa interioară ($\sigma_{red,i}$) şi exterioară ($\sigma_{red,e}$) a conductei [21], considerîndu-se succesiv trei temperaturi ale abu-

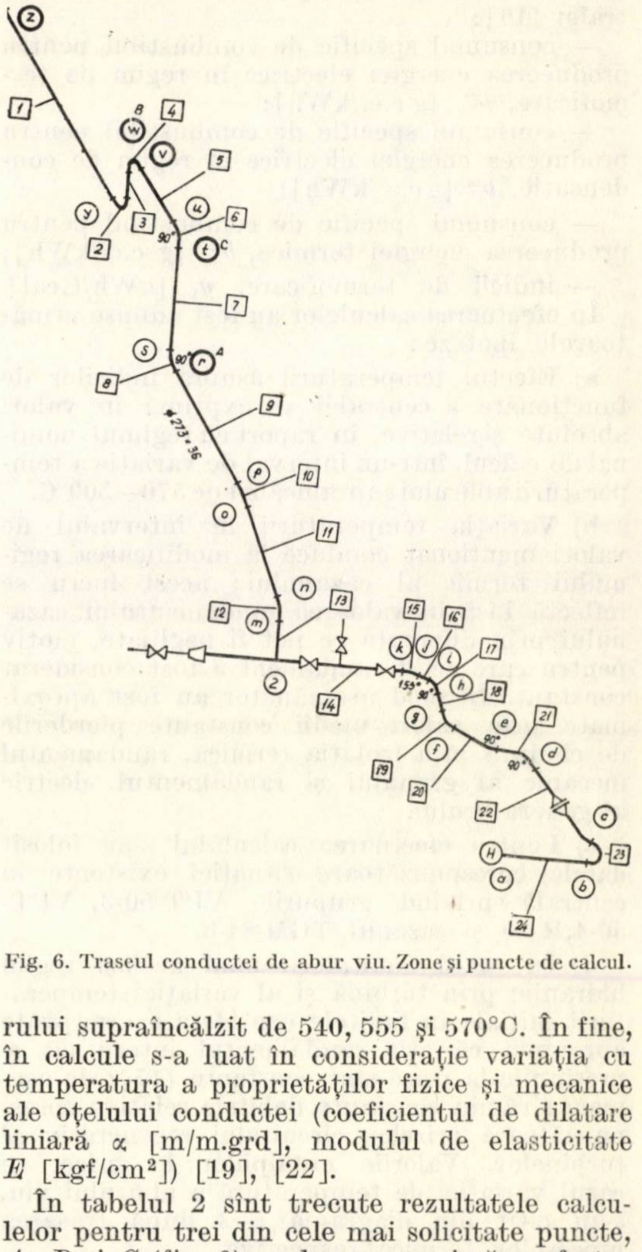


Fig. 6. Traseul conductei de abur viu. Zone şi puncte de calcul.

rului supraîncălzit de 540, 555 şi 570°C. În fine, în calcule s-a luat în consideraţie variaţia cu temperatura a proprietăţilor fizice şi mecanice ale oţelului conductei (coeficientul de dilatare liniară $\alpha$ [m/m.grd], modulul de elasticitate $E$ [kgf/cm$^2$]) [19], [22].

În tabelul 2 sînt trecute rezultatele calculelor pentru trei din cele mai solicitate puncte, *A*, *B* şi *C* (fig. 6); valoarea maximă a efortului redus într-o secţiune oarecare s-a obţinut la suprafaţa interioară a conductei ($\sigma_{red,i}$). Ultima coloană din tabelul 2 cuprinde sursa bibliografică folosită pentru determinarea mărimilor $\alpha$ şi $E$.

Din aceste calcule rezultă că efortul unitar total (redus) în peretele conductei depinde relativ puţin de temperatura agentului termic

*Tabelul 2*

**Rezultatele calculului mecanic al conductei de abur viu**

| Temperatura aburului, °C | Dilatarea specifică, $\alpha\Delta t$, m/m | $E$, kgf/cm², | $\sigma_{red,i}$, kgf/cm², în punctul | | | Obs. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | *A* | *B* | *C* | |
| 540 | $0{,}734 \cdot 10^{-2}$ | $1{,}68 \cdot 10^{6}$ | 500 | 506,5 | 496 | [19] |
| 555 | $0{,}766 \cdot 10^{-2}$ | $1{,}65 \cdot 10^{6}$ | 501,3 | 508 | 496,6 | [19] |
| 570 | $0{,}782 \cdot 10^{-2}$ | $1{,}62 \cdot 10^{6}$ | 502,4 | 508,5 | 497,5 | [19] |
| 570 | $0{,}648 \cdot 10^{-2}$ | $1{,}52 \cdot 10^{6}$ | 500 | 497 | 490 | [22] |

transportat (pentru 30 grd variaţie de temperatură, $\sigma_{red,i}$ se modifică cu mai puţin de 1%).

Pe de altă parte, caracteristica de rezistenţă (rezistenţa de rupere la 100 000 ore de funcţionare la temperatura $t$, $\sigma_{r,100000,t}$ a oţelului 12 HMF de execuţie a conductei este, conform normelor [23], de 5,3 kgf/mm² la 575°C şi de 7,4 kgf/mm² la 550°C. Comparînd valorile maxime pentru $\sigma_{red,i}$ cu aceste ultime date, rezultă posibilitatea folosirii conductelor de abur viu pînă la durata lor de viaţă teoretică (100 000 ore), cu condiţia ca structura internă a materialului să nu fi suferit între timp modificări esenţiale, care să ducă la reducerea accentuată a caracteristicii de rezistenţă sub valorile prevăzute de normele [23].

## 5. Caracteristicile mecanice şi structurale ale oţelului conductelor

Una dintre proprietăţile de bază ale oţelurilor şi aliajelor destinate funcţionării la temperaturi înalte o constituie rezistenţa mecanică ridicată a acestora. Principala dificultate în evaluarea acestei caracteristici constă în faptul că indicii de rezistenţă sînt determinaţi pe baza încercărilor de laborator, a căror durată este de obicei cu un ordin de mărime mai mică decît timpul real de funcţionare a materialului dat. În aceste condiţii este de o deosebită importanţă folosirea unor metode sigure de extrapolare a datelor de laborator [24].

În cadrul Institutului politehnic din Bucureşti, la catedra de Studiul metalelor şi semiconductorilor s-au efectuat cercetări experimentale în vederea stabilirii stării structurale şi rezistenţei de durată a oţelului utilizat pentru conducta de abur viu. Acest oţel (12 H1MF, conform GOST 10801—64) face parte din categoria oţelurilor termostabile, slab aliate cu Cr-Mo-V, cu structură feritico-perlitică sau bainitică.

Încercările s-au efectuat pe materiale trimise de centrala electrică, pentru care au fost specificate condiţiile de lucru şi duratele de utilizare respective, şi anume: a) o probă de ţeavă neutilizată; b) o probă de ţeavă avînd 8000 ore de funcţionare la temperatura aburului viu de 555°C şi presiunea de 140 kgf/cm²; c) o probă de ţeavă avînd 63 000 ore de funcţionare la 555—570°C şi 140 kgf/cm². Prelevarea probelor s-a făcut din zonele de concentrare a eforturilor pe traseul conductei de abur viu specificate la punctul 4.

Din analiza datelor obţinute în cadrul studiului metalografic rezultă următoarele:

1. Oţelul conţine cantităţi medii de incluziuni nemetalice, care, la durate lungi de exploatare la temperatura de 555-570°C şi presiunea de 140 kgf/cm², sub atmosferă de abur, datorită reacţiilor şi transformărilor care au loc, pot influenţa sensibil rezistenţa de rupere a materialului. Cordoanele de sudură analizate prezintă de asemenea incluziuni nemetalice şi porozităţi, defecte care diminuează caracteristicile de rezistenţă ale îmbinării şi arată că execuţia acestora nu s-a făcut în cele mai bune condiţii.

2. În timpul exploatării, datorită temperaturii, presiunii şi duratei lungi de utilizare, microstructura oţelului suferă transformări în sensul schimbării morfologiei şi proporţiei constituenţilor. Datorită fenomenului de difuzie a atomilor au loc reacţii în stare solidă de trecere de la cementită aliată la carburi de Cr, Mo şi V, acestea plasîndu-se de preferinţă la limitele grăunţilor de ferită. Se poate aprecia că toate aceste fenomene influenţează negativ caracteristicile fizico-mecanice, conducînd la apariţia sensibilităţii de fisurare a oţelului în exploatare.

3. Din compararea micrografiilor realizate pe probe prelevate din ţevile care au lucrat 63 000 ore cu etaloanele anexate la GOST 10804-64, rezultă că primele prezintă o microstructură necorespunzătoare.

4. În timpul exploatării, în condiţii de temperatură de 555—570°C şi de presiune de 140 kgf/cm², timp de 63 000 ore, pe suprafeţele exterioare şi interioare ale ţevilor au avut loc şi procese de decarburare şi oxidare, pe adîncimi apreciate la 0,2—0,3 mm.

Încercările de rezistenţă a materialului au urmărit stabilirea principalelor caracteristici mecanice (limita de rupere $\sigma_r$, limita de cur-

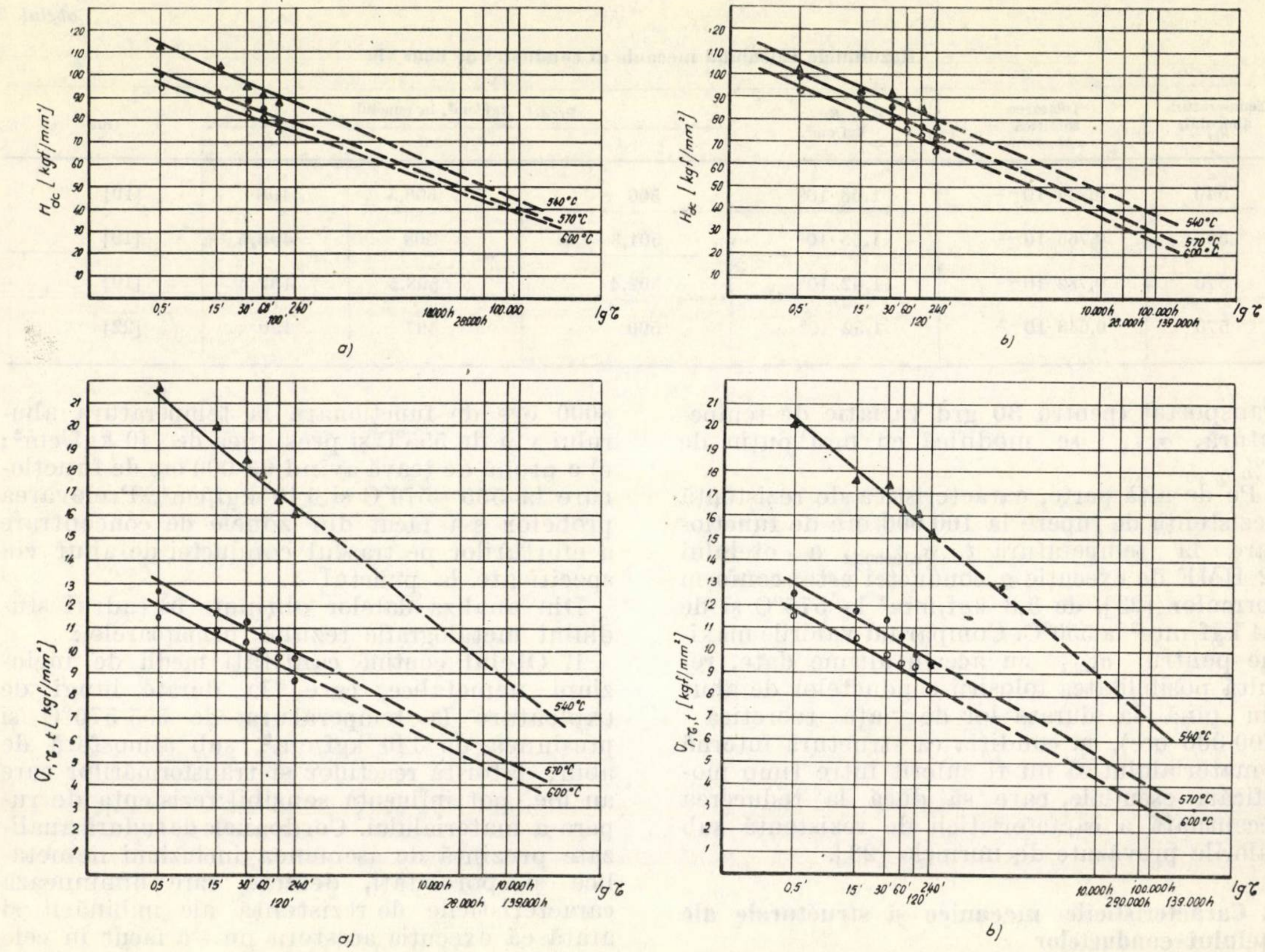



Fig. 7. Variația durității $H_{dc}$ și a rezistenței de durată $\sigma_{r,\tau,t}$ cu timpul de menținere a sarcinii la diferite temperaturi: *a* – oțel nefolosit; *b* – oțel utilizat 63 000 ore la 555–570 °C.

*Tabelul 3*

**Caracteristicile de rezistență ale oțelului 12 H1MF (încercări pe epruvete longitudinale)**

| Proba | Temperatura de încercare, °C | $\sigma_r$, kgf/mm² | $\sigma_{0,2}$, kgf/mm² | $\delta_5$, % | $\psi$, % | $KCU_2$, kgf. m/cm² |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Conform GOST. 10802-64 | 30 | 48–65 | 26 | 21 | 55 | 6 |
| Neutilizat | 30 | 54,5 | 42,3 | 23,7 | 74,2 | 24,3 |
| | 540 | 36,6 | 21,5 | 39,6 | 80,6 | 17,1 |
| | 570 | 29,5 | 19,5 | 41,0 | 82,3 | 15,6 |
| Utilizat 8 000 ore | 30 | 53,8 | 42,0 | 23,0 | 72,6 | 24,0 |
| | 540 | 36,0 | 21,2 | 38,8 | 80,0 | 16,6 |
| | 570 | 28,9 | 19,7 | 41,2 | 81,6 | 15,3 |
| Utilizat 63 000 ore | 30 | 43,3 | 34,6 | 21,4 | 70,3 | 21,6 |
| | 540 | 28,8 | 16,6 | 37,0 | 76,1 | 14,9 |
| | 570 | 20,6 | 13,2 | 39,0 | 78,7 | 13,8 |

gere $\sigma_{0,2}$, alungirea relativă $\delta_5$, contracția relativă $\psi$, reziliența $KCU_2$ pentru trei temperaturi, 30, 540 și 570°C; rezultatele măsurătorilor sînt trecute în tabelul 3. De asemenea, folosindu-se metoda durității de durată la cald [25] s-a determinat rezistența de durată a oțelului 12 H1MF. Încercările au fost făcute pentru trei temperaturi apropiate de temperaturile de funcționare (540, 570 și 600°C) la diferiți timpi de execuție a probei (0,5; 15; 30; 60; 120 și 240 min). Determinarea rezistenței de durată se bazează pe similitudinea curbelor durității de durată-temperatură cu a curbelor rezistenței de durată-temperatură. În figura 7 se prezintă variația durității și rezistenței de durată pentru proba nefolosită (fig. 7 *a*) și pentru proba utilizată 63 000 ore de funcționare (fig. 7 *b*), la temperatura de 555–570°C. Rezistența de durată s-a determinat prin extrapolarea liniară a curbelor pînă la durate de peste 100 000 ore, folosind pentru timp o scară logaritmică.

Analiza rezultatelor încercărilor de rezistență pune în evidență următoarele:

1. Limita de curgere $\sigma_{0,2}$ a țevii care a funcționat 63 000 ore este mai mică decît a țevii nefolosite cu circa 17% la temperatura ambiantă, cu circa 22% la temperatura de 540°C și cu circa 30% la temperatura de 570°C. 2. Rezistența de rupere $\sigma_r$ a țevii avînd 63 000 ore de funcționare este mai mică decît a țevii neutilizate cu circa 19% la temperatura ambiantă, cu circa 21% la temperatura de 540°C și cu circa 29% la temperatura de 570°C. 3. Alungirea $\delta_5$ scade de asemenea cu circa 10% la temperatura ambiantă și în proporție de 5–7% la temperaturile de 540 și 570°C, iar reziliența $KCU_2$ se micșorează cu circa 11% la temperatura ambiantă și cu circa 13% la 540 și 570°C.

Instrucțiunile tehnice de funcționare a centralelor termice ISCIR C 29–67 [26] precizează, în cadrul capitolului VI, că rezultatele $\sigma_{0,2}$, $\sigma_r$ și $\delta_5$ pentru materialul utilizat trebuie să fie cel puțin 0,9 din rezultatele obținute pentru materialul nou : reziliența nu trebuie să fie mai mică de 50% în comparație cu reziliența materialului neutilizat. Din valorile prezentate mai sus se vede că numai reziliența satisface prevederile normei [26], restul caracteristicilor neîncadrîndu-se. Este de observat că diferențele se accentuează cu creșterea temperaturii și a duratei de funcționare.

4. Determinarea rezistenței de durată prin metoda durității de durată la cald, efectuată pe timp de 6 ore, permite obținerea numai a unor valori orientative. Cu toate acestea, se pot trage concluzii preliminare în ceea ce privește comportarea în exploatare a oțelului 12 H1MF. Regimul de utilizare a acestui oțel de-a lungul a 100 000 ore de funcționare conduce la temperaturi ale aburului de cel mult 540 °C, deoarece peste această temperatură metalul atinge rezistențe de durată sub 9 kgf/mm$^2$ (fig. 7 *a*), considerată ca limită admisibilă. După cum rezultă din diagrama din figura 7 *b*, oțelul 12 H1MF utilizat 63 000 ore la 555–570°C este ușor sub limita inferioară a rezistenței de durată chiar și la temperatura de 540°C ; se deduce de aici că folosirea oțelului 12 H1MF la temperaturi de 555–570 °C timp de 63 000 ore a produs o serie de modificări structurale, care au dus la o scădere importantă a rezistenței de durată.

## Concluzii

Pornind de la existența unui număr crescînd de avarii la un cazan de abur TGM-84-3 al unei centrale electrice de termoficare, lucrarea a cercetat principalele aspecte legate de nivelul de temperatură al aburului viu, și anume comportarea supraîncălzitorului convectiv, a conductei de abur cazan-turbină și caracteristicile de funcționare ale turbinei la schimbarea temperaturii inițiale a aburului. Ca o constatare generală se poate aprecia că situația creată impune reducerea temperaturii aburului viu pînă la aproximativ 540 °C, valoare determinată nu pe bază de calcule economice, ci fixată prin condiții de siguranță a funcționării instalației.

În privința cazanului de abur se desprind următoarele concluzii :

1. Proiectarea supraîncălzitorului convectiv a fost necorespunzătoare, necesitînd chiar de la începutul funcționării cazanului reducerea suprafeței de schimb de căldură prevăzută inițial. Pe parcursul celor 63 000 ore de utilizare, cazanul de abur a avut particularități funcționale în ceea ce privește regimul de lucru (ca agregat de vîrf) și temperatura aburului, care s-au repercutat asupra regimului termic și mecanic al supraîncălzitorului convectiv.

*2.* Evoluția numărului de defecte ale supraîncălzitorului convectiv arată că instalația se găsește în stadiul III (de uzură) al curbei de siguranță în exploatare, deci în perioada în care intensitatea de avarie crește exponențial. Reducerea temperaturii aburului viu pînă la 555 °C nu a influențat valoarea intensității de avarie și nu a asigurat condițiile de rezistență necesare.

3. Cazanul TGM-84-3 nu este dotat cu aparatura corespunzătoare controlului temperaturii metalului. Acestă situație a împiedicat constatarea la timp a regimului de temperaturi al țevilor supraîncălzitorului convectiv, fapt care ar fi condus anticipat la decizia coborîrii temperaturii și la evitarea fenomenelor legate de întrebuințarea oțelului la temperaturi la care este depășită capacitatea sa de lucru.

4. Condițiile de lucru ale țevilor supraîncălzitorului convectiv depășesc limita de stabilitate a oțelului 12 HMF (12 H1MF), prin stabilirea unor temperaturi la care fenomenele de decarburare și oxidare se desfășoară cu viteze ridicate. Deși nu au fost efectuate analize metalografice pentru metalul acestor țevi, decizia asupra capacității lor de lucru se poate lua pe baza calculelor privind analiza statistică a comportării în exploatare, prezentate la pct. 2.

5. Calculul regimului termic al supraîncălzitorului convectiv arată că regimul de temperatură cel mai defavorabil apare în prima porțiune a suprafeței de schimb de căldură. Temperatura maximă a metalului crește cu sarcina cazanului, pentru debite de abur mai mari de aproximativ 300 tf/h, depășind limita maximă admisă de norme pentru oțelul 12 HMF. Eforturile mecanice efective depășesc de asemenea caracteristicile de rezistență ale acestui material.

6. O serie de lucrări în literatura tehnică de specialitate evidențiază apariția acelorași fenomene la cazanele TGM-84 exploatate în U.R.S.S. Observațiile se concentrează atît asupra comportării necorespunzătoare a oțelu-

lui şi deficienţelor proiectării termice şi hidraulice a supraîncălzitorului, cît şi asupra normelor de calcul în vigoare privind stabilirea temperaturii de calcul în metal şi alegerea adaosurilor pentru coroziune la grosimea teoretică a peretelui ţevilor.

În legătură cu conductele de abur viu se consideră mai importante următoarele concluzii :

1. Calculul mecanic al conductei de abur cazan-turbină indică zone de concentrare a efortului la valori în jur de 5,1 kgf/mm² cu o eroare probabilă de $\pm 10\%$.

2. Analiza metalografică, efectuată însă numai pentru un număr mic de probe, indică apariţia în timp a unor importante modificări structurale prin formarea de carburi la marginea cristalelor. De asemenea s-a pus în evidenţă reducerea rezistenţei de rupere şi a durităţii de durată la cald. Aceste rezultate sînt similare cu cele constatate în U.R.S.S. pentru acelaşi oţel.

3. La funcţionarea turbinelor de termoficare, reducerea temperaturii aburului supraîncălzit de la 570 °C micşorează indicii de termoficare cu 2,65—4% şi măreşte consumul de căldură în condensaţie cu 2,6%. Avînd însă în vedere numărul limitat de ore de utilizare a capacităţii nominale a părţii de condensaţie la o turbină de termoficare, se consideră că efectele economice ale acestei creşteri de consum de căldură sînt mult mai reduse decît în cazul unei instalaţii în condensaţie pură. În condiţiile de răcire specifice centralei electrice considerate, coborîrea temperaturii iniţiale nu măreşte umiditatea finală a aburului peste limita admisibilă şi nici nu afectează siguranţa de funcţionare şi durata de viaţă a turbinelor.

În finalul elementelor discutate mai sus se propun următoarele :

1. Reducerea temperaturii aburului supraîncălzit la 540 °C, măsură care aduce supraîncălzitorul convectiv în situaţia de a se încadra în prevederile normelor pentru oţelul 12 HMF. Această reducere de temperatură ameliorează funcţionarea actuală, dar nu înlătură necesitatea înlocuirii în viitorul apropiat a tubulaturii supraîncălzitorului convectiv, folosind un material cu caracteristici de fluaj superioare oţelului 12 HMF (12 H1MF). Odată cu schimbarea supraîncălzitorului este de luat în considerare şi reproiectarea lui, cu dimensionarea şi dispunerea suprafeţei de schimb de căldură după experienţa dobîndită.

2. Controlul metalografic şi de rezistenţă periodic al materialului conductelor prelevat din punctele de concentrare a eforturilor. Încercările de rezistenţă urmează a pune în evidenţă rezistenţa de durată la cald, cu durate ale probelor de cel puţin 3 000 ore.

3. Organizarea măsurilor pentru înlocuirea sistemului de conducte de abur de înaltă presiune într-un interval de timp de 1,5—2 ani, astfel încît, în ipoteza că probele de rezistenţă de durată vor fi nesatisfăcătoare, să se poată înlocui conductele.

4. Concluzii asupra duratei de viaţă în continuare a conductelor de abur la 540 °C vor putea fi obţinute numai după noi serii de măsurători şi analize efectuate după o perioadă de funcţionare la această temperatură.

**Bibliografie**


[1] Zlepko, V. F., Prîjiialkovski, M. M. şi Fedotova, L. I. *Pricini povrejdenii paroperegrevateli kotlov na parametri 140 ata, 570° C.* În: Energomaşinostroenie, *14*, nr. 5, 1968, p. 7—8.

[2] Antikain, P. A., Rîtvinski, A. I. şi Zusman, V. M. *Okalinostoikosti trub paroperegrevatelei iz stalei 12 H1MF, 12H2MFSR i EI 531.* În: Teploenerghetika, *16*, nr. 3, 1969, p. 58—62.

[3] Kontorovski, A. Z., Vasiucikova, K. I. şi Kuzneţova, T. P. *Okalinostoikosti kotelnîh stalei.* În: Teploenerghetika, *11*, nr. 2, 1969, p. 13—18.

[4] Lanskaia, K. A. *Struktura i svoistva kotelnîh stalei marok 12H1MF, 12H2MFSR, EI 531, EI 695P.* VTI ORGRES, 1966.

[5] Mazel, P. E. şi Talîşeva, I. I. *Fiziko-mehaniceskie svoistva paroprovodov iz stali 12H1MF pri dlitelnoi ekspluataţii.* În: Elektriceskie stanţii, *39*, nr. 12, 1968, p. 32—36.

[6] Kaţ, S. K. *Dlitelnaia procinosti i polzucesti naturnîh paroprovodnîh trub iz stali 12H1MF.* În: Teploenerghetika, *17*, nr. 2, 1970, p. 58—59.

[7] Zlepko, V. F. şi Zaharova, A. I. *Kriterii ekspluataţionnoi nadejnosti stali 12H1MF.* În: Elektriceskie stanţii, *41*, nr. 4, 1970, p. 32—34.

[8] Prîjiialkovski, M. M., Taldîkin, K. M. şi Makeev, V. A. *Temperaturnîi rejim paroperegrevateliia kotla TGM-84-3.* În: Elektriceskie stanţii, *39*, nr. 5, 1968, p. 21—24.

[9] Kerimov, Iu. M. şi Vainştain, V. I. *Rekonstrukţiia sistemî paroprovodov kotlov TGM-84.* În: Elektriceskie stanţii, *39*, nr. 1, 1968, p. 79—80.

[10] Meikliar, M. V. *Nadejnosti paroperegrevatelei sovremennîh kotloagregatov.* În: Elektriceskie stanţii, *39*, nr. 2, 1968, p. 12—15.

[11] Krutasova, E. I. şi Talova, T. M. *Nadejnosti rabotî metall paroprovodov posle raşciotnovo sroka slujbî.* În: Elektrice skiestanţii, *39*, nr. 2, 1968, p. 15—19.

[12] Daniuşevski, I. A. *Vîbor raşciotnoi temperaturî stenki paroperegrevatelnîh trub.* În: Energomaşinostroenie, *14*, nr. 4, 1968, p. 37—39.

[13] * * * *Normî raşciota elementov parovîh kotlov na procinosti.* Izd. Nedra, 1966.

[14] Gnedenko, B. V., Beleaev, I. K. şi Soloviev, A. D. *Metode matematice în teoria siguranţei.* Editura tehnică, Bucureşti, 1968.

[15] Nitu, V., Albert, H. şi Brădescu, M. *Metode statistico-probabilistice utilizate în energetică.* Editura tehnică, Bucureşti, 1968.

[16] Stăncescu, I. D. *Bazele tehnice şi economice ale termoficării.* Editura tehnică, Bucureşti, 1967.

[17] Grecu, T. *Turbine şi turbocompresoare,* vol. I, ed. a II-a. Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1967.

[18] Prisecaru, I. şi Leca, A. *Analiza regimului termic şi mecanic al supraîncălzitorului convectiv al cazanului TGM-84-3.* În: Energetica, *20*, nr. 9, 1972.

[19] Jürgensonn, H. *Elastizität und Festigkeit im Rohrleitungsbau.* Springer Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1953.

[20] Buzdugan, Gh. *Rezistenţa materialelor,* vol. I, II. Editura tehnică, Bucureşti, 1958.

[21] D i n c u l e s c u, C., B u r d u c e a, C. şi L e c a, A. *Reţele termice şi hidropneumatice.* Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1968.

[22] K e l l o g C o m p. *Design of piping systems.* John Wiley, New York, 1958.

[23] * * * *Condiţii tehnice interrepublicane MRTU 14-4-21-67. Ţevi din oţel fără sudură pentru cazane de abur şi conducte.*

[24] A d a m o v i t c h, V. K., P a n i t c h k i n, J. N. şi S t a n i u k o v i t c h, A. V. *Predicting of long-time properties of high-resistant steels and alloys.* The 4-th Intern. Symp. on Heat-Resistant Materials, 6–9 sept. 1971, Mala Fatra, Czechoslavakia.

[25] V e k s l e r, E. I. şi B o l i a n s k i, S. R. *Opredelenie dlitelnoi procinosti stali 12H1MF metodom goriacei dlitelnoi tviordosti.* În: Elektriceskie stanţii, *36*, nr. 2, 1965.

[26] * * * *Instrucţiuni tehnice de exploatare a centralelor termice.* ISCIR C 29–67.

(Articol intrat în redacţie la 7 iulie 1972)

# Calculul temperaturilor caracteristice din focarele cazanelor de abur

Ing G. Chercea
şi ing. G. Tardos*)

În cadrul lucrărilor de raţionalizare şi cercetare din domeniul cazanelor de abur, intervine foarte des o problemă a cărei rezolvare este dificilă, şi anume stabilirea temperaturii gazelor de ardere la ieşirea din focar, în cazul în care se modifică caracteristicile combustibilului folosit.

Totodată, prezintă interes, din punctul de vedere al regimului termic al focarului, cunoaşterea evoluţiei temperaturii gazelor de ardere în lungul flăcării. Dacă se urmăreşte şi această evoluţie în funcţie de caracteristicile variabile ale combustibilului, dificultatea soluţionării este evidentă.

O rezolvare a acestor două probleme prin calcule succesive de bilanţ termic al focarului este mult prea laborioasă, iar în cazul arderii simultane de combustibili, solid şi gazos, în diverse participaţii, pare imposibilă.

O metodă care să permită :

—calculul variaţiei temperaturii gazelor de ardere în secţiunea de ieşire a focarului, în funcţie de variaţia puterii calorifice a combustibilului, umiditatea acestuia, conţinutul de cenuşă şi participaţia calorică a combustibilului gazos auxiliar şi

— determinarea evoluţiei temperaturii gazelor de ardere în lungul flăcării în funcţie de aceleaşi variabile

este evident utilă şi permite rezolvarea unor probleme practice, cum ar fi :

— influenţa modificării proprietăţilor (sortului) combustibilului solid asupra valorii temperaturii gazelor de ardere într-un punct al flăcării sau variaţia acestei temperaturi în lungul ei, precum şi valoarea temperaturii gazelor în secţiunea de ieşire a focarului;

— influenţa modificării participaţiei calorice a combustibilului gazos auxiliar asupra aceloraşi temperaturi;

— aprecierea pericolului apariţiei fenomenului de zgurificare.

## Elemente iniţiale

În elaborarea metodei s-a urmărit posibilitatea folosirii calculatoarelor de birou, ceea ce poate scurta simţitor durata întocmirii calculelor, şi în acest scop s-au folosit numai formule uşor programabile.

Ca elemente care definesc caracteristicile combustibilului solid se consideră numai $H$, $a$, $w$, care verifică relaţia de calcul al puterii calorifice, după Boie [1] :

$$H = 585\,\frac{14{,}66+76{,}7\,\sigma}{5{,}66+1{,}7\,\sigma}\left[\frac{9+75\,\sigma}{14{,}66+76{,}7\,\sigma}\,(1-a)-w\right], \tag{1}$$

unde

$$\sigma = 1 + \frac{3}{c}\left(h - \frac{0-s}{8}\right). \tag{2}$$

Pentru cărbunii energetici din R.S.R., cifra caracteristică $\sigma$ are valorile :

— lignit (Rovinari), $\sigma = 1{,}05$ ;
— huilă (Valea Jiului), $\sigma = 1{,}17$.

Folosind relaţiile stabilite de Boie [1], se poate determina conţinutul de carbon al combustibilului solid şi cifra de umiditate a acestuia, funcţie numai de elementele considerate :

$$c = \frac{H + 585\,(1-a)}{7670\,\sigma + 1466} \tag{3}$$

$$\rho = \frac{2}{3}\cdot\frac{9h+w}{c} = \frac{5115\,\sigma + 976}{H+585(1-a)}(1-a) - 0{,}425 \tag{4}$$

Cantitatea de combustibil gazos auxiliar care se arde în focar este definită de participaţia calorică a acestuia, $g$. Prin urmare, pentru un kilo-

*) Gheorghe Chercea este cercetător principal la ICENERG; Gavril Tardos este inginer la acelaşi institut.

gram de cărbune se introduce în focar o cantitate de combustibil gazos ($Nm^3/k$):

$$y = \frac{H_c}{H_g}\left(\frac{1}{1-g} - 1\right) \qquad (5)$$

Valoarea coeficientului de exces de aer în focar se consideră definită prin conţinutul de bioxid de carbon ($CO_2$) în gazele de ardere la sfîrşitul focarului.

### Ipoteze

Avînd în vedere complexitatea fenomenelor care au loc la arderea în focare a combustibililor solizi cu combustibil auxiliar (gaz), a fost necesară introducerea unor ipoteze simplificatoare:

— Materiile volatile din cărbune se degajă şi ard imediat după introducerea prafului în focar. Acest fenomen se ia în considerare prin folosirea în calcul a excesului de aer rămas după arderea lor [2]:

$$\lambda^* = \lambda + (\lambda - 1)(\sigma - 1) \qquad (6)$$

— Combustibilul auxiliar (gaz) arde instantaneu şi, în consecinţă, rezultă cantitatea de gaz introdusă în focar pentru fiecare kilogram de cărbune efectiv ars:

$$b = y/\eta_\tau, \qquad (7)$$

unde $\eta_\tau$ este randamentul arderii de-a lungul flăcării.

— În scopul determinării temperaturii gazelor de ardere în lungul flăcării, focarul este teoretic subîmpărţit în felii, dintre care prima se întinde pînă la nivelul ultimului arzător, iar ultima pînă la secţiunea de ieşire a focarului [2].

Randamentul arderii în secţiunea de ieşire este:

$$\eta_k = 1 - q_4, \qquad (8)$$

unde $q_4$ este pierderea prin ardere mecanic incompletă şi se determină după Ledinegg [3], funcţie de timpul de ardere $\tau_B$ şi timpul de staţionare a particulei de cărbune în focar, $\tau_A$ ($\tau_A \cong \tau_B$), precum şi de fineţea de măcinare a prafului de cărbune.

Randamentul arderii la un moment oarecare ($\tau/\tau_B < 1$), după [2], este exprimat de relaţia:

$$\eta_\tau = \frac{exp. k' \ \tau/\tau_B - 1}{exp. k' \ \tau/\tau_B - 1/\lambda^*}, \qquad (9)$$

unde

$$k' = \ln \frac{1 - \eta_k/\lambda^*}{1 - \eta_k}, \qquad (10)$$

În acest fel, temperatura gazelor de ardere în diferite puncte ale focarului se calculează analog cu cea din secţiunea de ieşire, avînd în vedere însă cantitatea de combustibil arsă pînă în acel moment, excesul de aer, conţinutul de bioxid de carbon etc.

— Se neglijează radiaţia flăcării de temperatură mai înaltă faţă de cea de temperatură mai joasă.

### Prezentarea metodei

Pe baza elementelor iniţiale şi a ipotezelor prezentate, se poate determina volumul specific de aer şi gaze de ardere atît pentru combustibilul solid şi gazos ($CH_4$), separat [1]:

$$L_c = 1,883 \ c\,(1/CO_{2\tau} + \sigma - 1,014) \qquad (11)$$

$$V_c = 1,883 \ c/CO_{2\tau} + 1,867 \ c \qquad (12)$$

$$L_g = 1 + 1/CO_{2\tau} \qquad (13)$$

$$V_g = 2 + 1/CO_{2\tau} \qquad (14)$$

cît şi pentru amestec:

$$L = L_c + yL_g/\eta_\tau \qquad (15)$$

$$V = V_c + y\,V_g/\eta_\tau \qquad (16)$$

În acelaşi scop se pot folosi expresiile deduse de Limpouch [4], pe baze statistice, în urma a numeroase analize efectuate asupra diverselor sorturi de cărbune, rezultatele fiind foarte apropiate.

Căldura specifică medie a gazelor de ardere, funcţie de elementele prezentate mai sus, se determină cu relaţia:

$$c_p = \frac{c_p^c + yc_v^g V_g/V_c\eta_\tau}{1 + y\,V_g/V_c\eta_\tau} \qquad (17)$$

unde căldurile specifice medii, $c_p^c$ şi $c_p^g$ se calculează după Boie [1], funcţie de temperatura gazelor de ardere, $T_f$, conţinutul de $CO_{2\tau}$ şi coeficientul $\rho$ (pentru $CH_4$, $\rho = 2$).

În expresiile (11) (17), variaţia conţinutului de bioxid de carbon în lungul flăcării se determină cu relaţia [2]:

$$CO_{2\tau} = CO_2\eta_\tau/\eta_k \qquad (18)$$

Temperatura gazelor de ardere în focar ($T_f$) se determină prin rezolvarea ecuaţiei [3]:

$$M[i_{th} - c_p\,(T_f - 273)] = \xi\,CS\left(\frac{T_f}{100}\right)^4, \qquad (19)$$

unde mărimile care intervin se calculează după cum urmează :

— volumul total de gaze de ardere :

$$M = B\ V\ \eta_\tau \qquad (20)$$

—entalpia teoretică a gazelor de ardere :

$$i_{th} = \frac{1}{V}\left(H_c + yH_g + L\, c_{pL}\, t_L\right) \qquad (21)$$

— coeficientul de radiație reciprocă [3] :

$$C = \frac{5{,}21}{\dfrac{1}{A_{1m}} + \dfrac{1}{A_{2m}} - 1} \qquad (22)$$

Coeficientul de absorbție al peretelui $A_{1m}$, și al flăcării, $A_{2m}$, pot fi determinați conform indicațiilor date de Ledinegg [3] și Schack [5]

$$A_{2m} = \frac{1}{S}\left(\Sigma F_R\ A_R\right) \qquad (23)$$

În această expresie, coeficientul $A_R$ se calculează pentru fiecare ecran (de suprafață $F_R$) în parte :

$$A_R = 1 - \left(1 - \frac{d}{t}\right)^2 \varepsilon^2 \qquad (24)$$

Suprafața totală a focarului este deci :

$$S = \Sigma\ F_R + \Sigma\ F_R' \qquad (25)$$

Coeficientul de absorbție al flăcării variază în lungul ei și se calculează pentru fiecare punct în parte ($\tau/\tau_B \leqslant 1$) :

$$A_{1m} = 1 - \frac{\tau_B}{\tau}\,\frac{1 - A_G}{\sqrt{a'R}}\,\frac{\sqrt{\pi}}{2}\left[\sqrt{1 - exp\,(a'R)} - \sqrt{1 - exp\left[-a'\,R\left(1 - \frac{\tau}{\tau_B}\right)^2\right]}\right] \qquad (26)$$

unde

$$a' = \frac{2{,}7}{V} + 0{,}0825\,\frac{q_V}{10^5} \qquad (27)$$

$$R = 4\,V_f/S, \qquad (28)$$

iar coeficientul de absorbție al gazelor de ardere are valoarea [5], [6] :

$$A_G = A_{H_2O} + A_{CO_2} \qquad (29)$$

$$A_{CO_2} = 1{,}435\ \left(p_{CO_2}\ R\right)^{0,4}\left(\frac{T_f}{100}\right)^{0,8} \qquad (30)$$

$$A_{H_2O} = 5{,}65\ p_{H_2O}^{0,8}\ R^{0,6}\ \frac{100}{T_f} \qquad (31)$$

În aceste relații, presiunea parțială a bioxidului de carbon se calculează cu expresia[1] :

$$p_{CO_2} = \frac{1}{\dfrac{1}{CO_{2\,\tau}} + \rho}, \qquad (32)$$

iar cea a vaporilor de apă :

$$p_{H_2O} = \rho\ \frac{1}{\dfrac{1}{CO_2} + \rho}. \qquad (33)$$

Pentru a determina temperatura gazelor de ardere într-un punct al focarului, se alege corespunzător raportul $\tau/\tau_B$ și se calculează randamentul arderii, $\eta_\tau$ cu relația (9). Temperatura gazelor în secțiunea de ieșire a focarului rezultă pentru $\tau/\tau_B = 1$, respectiv $\eta_\tau = \eta_k$. În continuare se alege o temperatură $T_f$ și se rezolvă ecuația (19) prin încercări, pînă cînd diferența între valoarea aleasă și cea rezultată este sub 5 grd.

Aceste operații se pot executa cu ușurință folosind un calculator electronic de birou.

## Concluzii

Metoda prezentată permite determinarea temperaturii gazelor de ardere în diverse puncte ale focarului ecranat al unui cazan de abur în care se arde cărbune pulverizat și gaz natural, în diverse proporții.

Caracteristicile combustibilului fiind calculate funcție numai de puterea calorifică a acestuia și de conținutul de cenușă și umiditate, se poate urmări evoluția temperaturilor în focar odată cu schimbarea sortului de cărbune introdus în cazan.

Avînd în vedere că în calcule intervin pierderile prin ardere mecanic incompletă $q_4$, funcție de timpul de staționare a particulei de cărbune în focar ($\tau_B \cong \tau_A$) și de finețea de măcinare a prafului, se poate urmări și evoluția temperaturilor în funcție de acest parametru.

Împărțirea focarului în zone și determinarea temperaturii gazelor de ardere în fiecare din ele sînt importante atît pentru evitarea zgurificării la schimbarea sortului de cărbune cît și pentru determinarea cantității de căldură cedate în focar, încărcării țevilor de ecran etc.

### Simboluri

| | | |
|---|---|---|
| $H$ | [kcal/kg] | — puterea calorifică inferioară a combustibilului |
| $a$ | | — conținutul de cenușă |
| $w$ | | — conținutul de umiditate |
| $c, h, o, s, \ldots$ | | — analiza elementară a combustibilului |
| $CO_2, H_2O, \ldots$ | | — compoziția gazelor de ardere |
| $\lambda$ | | — excesul de aer |

$L$ [Nm³/kg, Nm³/Nm³] — volumul specific de aer
$V$ [Nm³/kg, Nm³/Nm³ — volumul specific de gaze de ardere
$c_p$ [kcal/Nm³grd] — căldura specifică medie a gazelor
$\eta_\tau$ — randamentul arderii
$\tau$ [s] — timpul de la introducere a combustibilului în focar
$t_L$ [°C] — temperatura de preîncălzire a aerului
$B$ [kg/h] — consumul orar de combustibil
$q_V$ [kcal/m³] — încărcarea termică a focarului
$T_f$ [°K] — temperatura gazelor de ardere
$\varepsilon, \xi$ — constante
$R$ [m] — grosimea stratului radiant
$S$ [m²] — suprafaţa totală a focarului
$F_R$ [m²] — suprafaţa ecranului focarului
$F'_R$ [m²] — suprafaţa neecranată a focarului
$V_f$ [m³] — volumul focarului
$p$ [ata] — presiunea parţială a gazelor
$d$, $t$ [mm] — diametrul şi pasul ţevilor de ecran

**INDICI**

$c$ — cărbune
$g$ — gaz
$L$ — aer de ardere
$k$ — la sfîrşitul focarului
$\tau$ — într-un punct oarecare al focarului

**Bibliografie**


[1] Boie, W. *Vom Brennstoff zum Rauchgas.* Verlag BG Teubner, Leipzig, 1957.

[2] Nguyen Thanh Lam şi Welzer, H. *Grundlagen zur Entwicklung und Gestaltung von Brenkammern für Dampferzeuger mit hohen Leistungen.* În: Energietechnik, *21*, nr. 6, 1971, p. 239–247.

[3] Ledinegg, M. *Dampferzeugung.* 2 Auflage. Springer Verlag, Wien/New York, 1966.

[4] Limpouch, B. *Statistische Auswertung der Verbrennungstöichiometrie bei festen fossilen Brenstoffen.* În: VGB Kraftwerkstechnik, *52*, Jahrgang, Heft, 1, 1972.

[5] Schack, A. *Der industrielle Wärmeübergang.* 7 Auflage. Verlag Stahleisen, Düsseldorf, 1968.

[6] Münzinger, F. *Dampfkraft.* 3 Auflage. Springer Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1949.


**(Articol intrat în redacţie la 5 aprilie 1972)**

# Aspecte ale reglajului automat de tensiune şi viteză ale grupurilor generatoare de mare putere

**Dr. ing. G. Moraite**[*)]

1. Continuitatea în funcţionare a grupurilor generatoare interconectate depinde într-o măsură importantă şi de performanţele echipamentelor de reglaj automat al excitaţiei şi vitezei, performanţe care influenţează atît desfăşurarea proceselor tranzitorii provocate de perturbaţii în reţea, cît şi regimurile staţionare de funcţionare. Din această cauză cunoaşterea parametrilor de funcţionare a acestor reglaje, a posibilităţilor de modificare în exploatare a unor parametri reglabili, în scopul optimizării acestor reglaje, ţinînd seama de ansamblul grup generator — sistem electroenergetic, formează obiectul unor activităţi de cercetare, studiu şi experimentări pe viu. Această activitate se finalizează prin stabilirea căilor de îmbunătăţire a performanţelor echipamentelor respective şi prin măsuri de asigurare a continuităţii în funcţionare a grupurilor generatoare după anumite perturbaţii în reţea care sînt eliminate prin protecţia şi automatica de sistem [1].

În cele ce urmează se vor trece în revistă principalele aspecte ale problemei, în scopul sublinierii importanţei care trebuie acordată stabilirii condiţiilor tehnice ale acestor echipamente şi verificărilor prin probe şi măsurători pe viu a comportării lor în anumite regimuri caracteristice de funcţionare ale grupurilor generatoare. Comportarea echipamentelor de reglaj automat al vitezei (*RAV*) şi al tensiunii (*RAT*) grupurilor generatoare influenţează într-o măsură deloc neglijabilă siguranţa în funcţionare a sistemului electroenergetic.

2. În ceea ce priveşte regimurile staţionare de funcţionare, se vor face referii numai la influenţa *RAT* asupra condiţiilor de stabilitate statică ale generatoarelor de mare putere cu reactanţe sincrone de ordinul 230–250% sau mai mari. În general aceste generatoare sînt echipate cu regulatoare de tensiune cu acţionare continuă, deci fără zonă de insensibilitate. Un astfel de reglaj al excitaţiei are ca efect funcţionarea cu o rezervă mare de stabilitate statică, chiar în regimuri staţionare defavorabile din acest punct de vedere, cum ar fi cele în care generatorul absoarbe putere reactivă din reţea, debitînd puterea activă nominală [2]. Această influenţă poate fi echivalată în calculele simplificate (după criterii practice) de predeterminare a condiţiilor de stabilitate statică, prin considerarea unei reactanţe echivalente (care se va denumi reactanţă echivalentă reglajului automat al excitaţiei $X_r$) pentru generatorul respectiv, mult mai mică decît reactanţa sincronă, apropiată de reactanţa tranzitorie.

Această funcţionare în domeniul „stabilităţii artificiale", datorată reglajului automat al excitaţiei, are loc şi în cazul *RAT* cu zonă de insensibilitate, dar reducerea acestei zone de la 1–2% la circa 2‰ (practic fără zonă de insensibilitate) măreşte mult siguranţa în funcţionare din punctul de vedere al stabilităţii statice.

*) George Moraite este inginer consilier la I.S.P.E.

3. În acelaşi scop, al măririi domeniului de funcţionare static stabilă, sistemele moderne de reglaj al excitaţiei sînt prevăzute cu semnale suplimentare, după derivata tensiunii la borne, după ecartul de frecvenţă şi derivata acestui ecart, după prima şi a doua derivată a unghiului intern etc. Prezenţa acestor semnale suplimentare care intervin în reglajul excitaţiei are un efect pozitiv atît asupra stabilităţii statice (la mici oscilaţii), cît şi asupra stabilităţii tranzitorii. În ceea ce priveşte reactanţa echivalentă reglajului automat al excitaţiei, reactanţă la care s-au făcut referiri mai sus ($X_r$), pentru aprecierea influenţei acestuia asupra stabilităţii statice, semnalele suplimentare pot avea ca efect scăderea valorii echivalente pentru $Xr$ chiar sub valoarea reactanţei subtranzitorii $X''d$, obţinîndu-se uneori $Xr\equiv 0$, ceea ce justifică ipoteza tensiunii constante la bornele generatorului în predeterminarea prin calcul a rezervei de stabilitate statică.

Complexitatea echipamentelor de reglaj automat al excitaţiei generatoarelor actuale de mare putere şi influenţa pe care ele o exercită asupra regimurilor de funcţionare ale generatoarelor interconectate impun cunoaşterea în detaliu a schemei-bloc şi funcţiilor de transfer respective pentru analiza stabilităţii la mici oscilaţii a ansamblului sistem de excitaţie — generator — sistem electroenergetic, în diverse regimuri permanente, caracteristice, de funcţionare a generatorului şi diverse structuri ale sistemului electroenergetic. În cadrul I.S.P.E. s-au elaborat pentru calculatorul IRIS-50 programe care permit o astfel de analiză parametrică, în scopul stabilirii domeniului optim de reglaj al parametrilor reglabili ai *RAT* pentru o funcţionare static stabilă a generatorului.

4. Cu titlul informativ se menţionează faptul că în situaţia în care funcţia de transfer pentru reglajul excitaţiei poate fi prezentată şi sub forma simplificată, echivalentă ;

$$\frac{\Delta U_e}{U_{en}} = -\frac{K}{1+T_e s}\cdot\frac{\Delta U_b}{U_{bn}}$$

în care

$U_e$ şi $U_{en}$ reprezintă tensiunea de excitaţie la inelele rotorului, valoare instantanee, respectiv nominală ;
$U_b$ şi $U_{bn}$ — tensiunea la bornele generatorului ;
$K$ — factorul de amplificare echivalent ;
$T_e$ — constanta de timp echivalentă ;
$s = \mathrm{d}/\mathrm{d}t$ ;

la o variaţie a constantei de timp echivalente în domeniul $0{,}1 \leqslant T_e \leqslant 0{,}3$ s, valorile optime ale factorului de amplificare sînt cuprinse în general în limitele $3\leqslant K\leqslant 5$, pentru hidrogeneratoarele conectate radial la sistemul electroenergetic, şi în limitele $5\leqslant K\leqslant 20$, pentru generatoarele conectate în nodurile reţelei buclate.

Dacă sistemul de reglaj automat al excitaţiei cuprinde şi semnale adiţionale, funcţia de transfer respectivă devine mai complexă şi în acest caz analiza calităţii reglajului şi a stabilităţii la mici oscilaţii permite atît determinarea reglajului optim pentru constantele de amplificare, cît şi dozajul necesar al diverselor canale referitoare la semnalele adiţionale.

Această acţiune de studiu şi experimentare pe viu a comportării reglajelor automate ale excitaţiei generatoarelor ar cuprinde două faze, una premergătoare furnizării echipamentului respectiv, iar cea de-a doua în cadrul probelor de punere în funcţiune a grupului generator, interconectat cu sistemul electroenergetic. În prima fază este ncesar ca furnizorul sau furnizorii solicitaţi să livreze echipamentul pentru generator, sistemul de excitaţie şi regulatorul automat al excitaţiei să indice beneficiarului parametrii de funcţionare ce trebuie cunoscuţi pentru analiza calităţii reglajului în funcţionarea interconectată, analiză finalizată prin stabilirea preliminară a domeniului necesar de variaţie a parametrilor reglabili. În cea de-a doua fază, experimentările pe viu vor permite verificarea parametrilor de funcţionare ai reglajului automat al excitaţiei şi optimizarea acestui reglaj.

Importanţa care se acordă reglajului automat al excitaţiei în toate ţările cu sisteme electroenergetice dezvoltate, cuprinzînd grupuri generatoare de mare putere, a determinat organizarea în cadrul CIGRE a unei acţiuni referitoare atît la caracteristicile echipamentelor respective, cît şi la probele necesare determinării parametrilor funcţiilor de transfer corespunzătoare [3], [4].

Cunoaşterea în detaliu a performanţelor reglajului automat al excitaţiei este utilă pentru stabilirea limitelor admisibile de funcţionare în regim permanent a generatorului respectiv, din punctul de vedere al stabilităţii statice (de exemplu, posibilităţile de funcţionare capacitivă) şi al reglajului tensiunii şi puterii reactive în reţeaua de transport. De altfel se preconizează în unele ţări organizarea reglajului terţiar al tensiunii în reţeaua de transport, în sensul participării automate a generatoarelor mari la acest reglaj, prin introducerea în sistemul de excitaţie al acestora a unor impulsuri proporţionale cu ecarturile de tensiune din anumite noduri ale reţelei. Un astfel de sistem automat nu poate fi conceput şi adaptat condiţiilor reale de exploatare fără o prealabilă analiză de detaliu a comportării sistemelor de excitaţie ale generatoarelor.

5. Comportarea grupurilor generatoare interconectate în regimuri tranzitorii simulate pro-

vocate de perturbaţii în reţeaua de transport (în special scurtcircuite, apoi declanşări intempestive de linii sau generatoare etc.) formează obiectul unor analize detaliate atît în cadrul studiilor privind dezvoltarea în perspectivă a sistemului electroenergetic cît şi în activitatea de dispecing. Aceste analize se finalizează prin determinarea capacităţii de transport a reţelei din punctul de vedere al stabilităţii dinamice în diverse configuraţii şi structuri caracteristice ale reţelei şi ale centralelor electrice şi prin stabilirea automaticii de sistem pentru evitarea extinderii avariilor [1]. În acest sens studiile regimurilor tranzitorii se încadrează în activitatea de analiză a măsurilor pentru mărirea siguranţei în funcţionare a sistemelor electroenergetice.

În ceea ce priveşte comportarea *RAT* în astfel de regimuri tranzitorii problema care se pune în mod special este de a cunoaşte valorile parametrilor funcţiilor de transfer respective, referitoare la perturbaţii de mare amplitudine, de exemplu la o variaţie bruscă de ordinul 10% a tensiunii la bornele generatorului. Aceste probe se fac odată cu cele referitoare la mici oscilaţii (variaţii bruşte de 1—2% a tensiunii la borne). Nu se va insista asupra altor caracteristici care influenţează desfăşurarea proceselor tranzitorii, cum ar fi plafonul de excitaţie, viteza de atingere a acestui plafon, durata dezexcitării rapide etc. Se va menţiona numai că ridicarea plafonului de excitaţie fără o creştere a vitezei de atingere a acestui plafon este ineficientă. În general, pentru realizarea unor condiţii satisfăcătoare de stabilitate dinamică este necesar ca plafonul de minimum 2 să fie atins în maximum 50 ms. Dacă acelaşi plafon este atins în 300—400 ms sau mai mult, practic forţarea excitaţiei nu contribuie la îmbunătăţirea stabilităţii dinamice.

6. În continuare se vor face referiri la modul în care reglajul automat al vitezei (*RAV*) grupurilor generatoare influenţează comportarea sistemului electroenergetic în regimuri tranzitorii de genul celor sus-menţionate. Dacă interesează analiza primei oscilaţii (în intervalul 0,5—0,7 s din momentul producerii perturbaţiei), influenţa *RAV* nu este importantă. În realitate perturbaţiile din reţea au un ciclu ce durează 2—3 s, incluzînd şi declanşarea liniei cu defect de la ambele capete şi reanclanşarea liniei, în cazul în care defectul este persistent urmînd declanşarea definitivă a liniei. În acest caz influenţa *RAV* al grupurilor antrenate cu turbine cu aburi este hotărîtoare pentru stabilitatea dinamică. Pentru studiul acestor regimuri tranzitorii este necesar să se cunoască funcţia de transfer corespunzătoare *RAV* şi valorile parametrilor ce intervin în această funcţie.

În măsura în care funcţia de transfer detaliată poate fi prezentată şi sub o formă simplificată echivalentă, de forma:

$$\frac{\Delta C}{\Delta \omega} = -\frac{1 + ms}{\sigma + \tau s}$$

în care

$C$ este cuplul mecanic la arbore;
$\omega$ — viteza unghiulară;
$\sigma$ — statismul permanent;
$m$ — dozajul accelerometric;
$\tau$ — promptitudinea.

În tabelul 1 se indică domeniile de variaţie a acestor parametri ($T_d$ se referă la timpul de deschidere a admisiei, iar $T_i$ la cel de închidere).

*Tabelul 1*

| Natura grupului | | τ,% | m, s | τ,s | $T_d$, s | $T_i$, s |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Termo | | 0—10 | 0 | 0,1 | 1—3 | 0,1—0,5 |
| Hidro | Pelton | 0—10 | 1—2 | 1—0,5 | <15 | 1 |
| | Francis | 0—10 | 1—2 | 1—0,5 | <30 | 3—5 |
| | Kaplan | 0—10 | 1—2 | 1—4 | <40 | 3—5 |

Valori de 2—3% pentru statismul $\sigma$ favorizează comportarea în regimuri dinamice. Promptitudinea $\tau = \sigma T_v$, în care $T_v$ se referă la timpul de acţionare a servomotorului, are un rol esenţial asupra stabilităţii dinamice, micşorarea valorii acestui parametru constituind, ca şi problema *RAV* în general, o preocupare corelată a constructorilor turbinelor şi echipamentelor de reglaj al vitezei.

7. Această preocupare se reflectă şi în acţiunea iniţiată în cadrul CIGRE în ultimii 2 ani, constînd în elaborarea unui chestionar transmis tuturor ţărilor reprezentate în această organizaţie, referitor la: caracteristicile actualelor echipamente, schemele-bloc, funcţiile de transfer pentru aceste reglaje şi probele pentru determinarea valorilor parametrilor de reglaj [3]. Răspunsurile la acest chestionar vor fi centralizate în cursul anului 1973, pentru ca în continuare să se elaboreze un material de sinteză ce va fi transmis ţărilor participante la anchetă şi care va putea constitui un punct de plecare în elaborarea unor condiţii tehnice generale pentru regulatoarele de viteză ale grupurilor generatoare de mare putere.

Nu se va intra în detalii privind probele pentru determinarea parametrilor funcţiilor de transfer pentru *RAV*. Se va menţiona numai faptul că funcţionarea *RAV* se verifică şi prin aruncări de sarcină, prin funcţionarea grupului

generator, respectiv alimentînd un consumator de energie electrică, fără interconexiune cu sistemul electroenergetic (funcţionare caracterizată în special prin variaţii importante de frecvenţă care afectează şi funcţionarea *RAT*), prin funcţionarea în reglaj automat frecvenţă — putere şi în regimuri tranzitorii provocate de perturbaţii în reţeaua de interconexiune.

Dintre mărimile care interesează în primul rînd analiza comportării *RAV* se menţionează : statismul permanent, insensibilitatea regulatorului, neliniaritatea între semnalul de reglaj şi cuplul mecanic, abaterea de reglaj, $\tau$ şi $T_v$.

Pentru analiza comportării dinamice a *RAV* la mici oscilaţii interesează şi amortizarea reglajului şi statismul tranzitoriu, iar la mari oscilaţii, neliniarităţile, durata minimă a închiderii şi a deschiderii admisiei etc.

Condiţiile tehnice pentru *RAV* ar trebui să se refere în mod detaliat la parametrii de funcţionare pentru care să se indice banda de reglaj admisibilă, la probele de efectuat la punerea în funcţiune a grupurilor generatoare pentru verificarea parametrilor funcţiei de transfer referitoare la *RAV* şi pentru verificarea comportării în regimurile caracteristice menţionate.

8. Comportarea grupurilor generatoare antrenate de turbine cu aburi la aruncarea sarcinii are o mare importanţă tehnico-economică, în sensul că menţinerea funcţionării în continuare, alimentînd serviciile proprii, permite o resincronizare după un interval de timp de ordinul minutelor, în timp ce oprirea grupului întîrzie revenirea la funcţionarea interconectată cu durate de timp ce pot depăşi 1—2 ore. Ori influenţa *RAV* asupra acestui regim tranzitoriu nu este de neglijat. Probe efectuate în alte ţări au condus la concluzia că printr-un reglaj adecvat al parametrilor *RAV* şi prin măsuri de adaptare a automatizărilor pe partea cazan-turbină, se poate menţine fără dificultate continuitatea funcţionării grupurilor cu serviciile proprii aferente, după aruncarea de sarcină, pe durate de ordinul 30 min.

Astfel de probe ar trebui incluse, de asemenea, în programul de probe la punerea în funcţiune.

9. Revenirea la funcţionarea sincronă a grupurilor generatoare după ieşirea din sincronism ca urmare a unor perturbaţii în reţeaua de interconexiune este în mare măsură condiţionată de comportarea RAV. Accelerarea închiderii admisiei la amorsarea primei oscilaţii, care caracterizează ieşirea din sincronism, favorizează reprinderea în sincronism. Această accelerare este condiţionată şi de solicitările ansamblului cazan—turbină, dar cercetări recente au condus la concluzia că în unele situaţii se pot realiza închideri ale admisiei aburului după 0,2—0,3 s de la semnalarea primei oscilaţii. În acest sens se preconizează realizarea unei accelerări a intervenţiei *RAV*, în mod automat, după prima oscilaţie a tensiunii la borne sau a curentului statoric. În mod similar se poate interveni şi asupra forţării excitaţiei, care de asemenea favorizează reprinderea în sincronism.

10. Funcţionarea grupurilor generatoare interconectate în reglaj centralizat frecvenţă — putere este de asemenea influenţată şi de comportarea *RAV* al grupurilor respective. Menţinerea unor benzi de reglaj pe grup de minimum 5% din puterea nominală, bandă în cadrul căreia sînt necesare viteze de variaţie a sarcinii de minimum $\pm$ 2 MW/min pentru grupurile termoelectrice şi de minimum $\pm$ 8 MW/min pentru grupurile hidroelectrice (valori minime orientative), este condiţionată atît de parametrii caracteristici de funcţionare ai *RAV* (în special de promptitudinea $\tau$), cît şi de comportarea automatizărilor pe partea termomecanică.

În scopul măririi eficienţei interconexiunilor internaţionale se preconizează realizarea în viitor a unui reglaj frecvenţă — putere adaptativ, care să permită o intervenţie rapidă şi în mod automat a grupurilor generatoare, în anumite situaţii de avarii, în sensul creşterii puterii active debitate pentru evitarea declanşării la suprasarcină a unor artere de interconexiune. În cadrul unui astfel de reglaj sînt necesare viteze de variaţie a sarcinii de ordinul 20% $P_n$/min pentru grupurile cu turbină cu aburi şi viteze mai mari pentru grupurile hidrogeneratoare.

Reglajul adaptiv s-a dovedit avantajos şi în regimuri normale de funcţionare a sistemului electroenergetic, în astfel de situaţii rolul său fiind de a reduce la minimum solicitarea centralelor reglante, reducere care este cu atît mai necesară cu cît puterea instalată în grupuri generatoare reglante este mai redusă.

Desigur, adaptarea unui asemenea reglaj comportă şi cunoaşterea în detaliu a parametrilor de funcţionare ai *RAV* (parametrii funcţiei de transfer referitoare la *RAV*, determinaţi atît în condiţiile unor mici perturbaţii cît şi la mari perturbaţii) pentru a fi posibilă analiza condiţiilor de optimizare a reglajului frecvenţă — putere, optimizare care urmăreşte în principal reducerea costului de reglaj, prin solicitarea unor benzi de reglaj cît mai reduse, în condiţiile menţinerii fluctuaţiilor de putere pe liniile de interconexiune în anumite limite.

### Concluzii

Regulatoarele automate ale excitaţiei şi vitezei grupurilor generatoare influenţează într-o măsură importantă regimurile de funcţionare ale sistemelor electroenergetice şi căile de mărire a siguranţei în funcţionarea acestor sisteme în regimuri tranzitorii.

Pentru cunoaşterea satisfăcătoare a parametrilor de funcţionare a acestor reglaje sînt necesare:

*a.* Elaborarea unor condiţii tehnice generale pentru regulatoarele de tensiune şi viteză.

*b.* Revizuirea programului de probe la punerea în funcţiune a grupurilor generatoare, în vederea includerii probelor pentru determinarea parametrilor funcţiilor de transfer pentru *RAT* şi *RAV* şi a domeniului de reglaj al acestora.

*c.* Studiul posibilităţilor de corelare optimă a reglajului de viteză şi tensiune a grupurilor generatoare de mare putere (de exemplu începînd cu grupurile de 50 MW) din sistemul electroenergetic românesc, ţinînd seama de comportarea în diverse regimuri de funcţionare caracteristice, staţionare şi dinamice.

*d.* Cunoaşterea parametrilor de funcţionare ai *RAT* şi *RAV* este necesară şi pentru urmărirea în timp real a funcţionării sistemului electroenergetic [5], [6], [8] prin calcule ,,on-line'' ale regimurilor staţionare şi tranzitorii. Aceasta în scopul stabilirii celor mai adecvate măsuri în exploatare pentru menţinerea siguranţei în funcţionare, după fiecare modificare a structurii sistemului electroenergetic şi la diverse paliere ale curbei de sarcină. În acest scop este necesară şi determinarea în timp real a valorilor unor indicatori simpli de siguranţă în funcţionare [8] pentru care cunoaşterea parametrilor *RAT* şi *RAV* este esenţială [1], [7].


**Bibliografie**

[1] M o r a i t e, G. *Limitarea extinderii avariilor în reţelele de înaltă tensiune în regimuri instabile.* Teză de doctorat, 1971, Institutul Politehnic Gh. Gheorghiu-Dej — Bucureşti.

[2] M o r a i t e, G. *Aspecte ale comportării grupurilor generatoare de mare putere la funcţionarea interconectată.* Sesiunea de comunicări tehnico-ştiinţifice I.C.P.E.T. 6—8 mai 1971, Bucureşti.

[3] * * * CIGRE STUDY COMMITTEE 32 — Working group C1 — *Questionnaire on the characteristics and performances of the turbine speed governors* — May 1971.

[4] * * * CIGRE STUDY COMMITTEE 13 — Working Group C1 — *Report on Replies to the Questionnaire on Voltage Regulating Systems* — May 1967.

[5] D i m o P a u l. *Anagraful.* În: Energetica, nr. 9, 1970, p. 377—382.

[6] D i m o P a u l. *Concepte noi în analiza reţelelor de energie. Analiza în timp real.* În: Energetica, nr. 20, 1972, nr. 5, p. 177—183.

[7] I o n e s c u, S. *Reprezentări nodale pentru analiza stabilităţii statice cu considerarea influenţei reglajului de tensiune.* În: Energetica, nr. 9, 1970, p. 391—396.

[8] D i m o P a u l. *Soluţiile analizei nodale în cazul calculului în timp real şi al interconexiunilor vaste.* În: Energetica, nr. 8, 1972, p. 333—341.



(Articol intrat în redacţie la 13 mai 1972)


# Condiţii de insensibilizare a motoarelor asincrone la goluri de tensiune


Ing. D.M. Potlog*)


Procesele tehnologice moderne impun acţionărilor electrice industriale o siguranţă în funcţionare din ce în ce mai mare. Deşi, din acest punct de vedere, acţionările cu motoare asincrone prezintă o serie de avantaje, ele rămîn încă sensibile la scăderile bruşte şi de scurtă durată ale tensiunii de alimentare (goluri de tensiune) datorate defectelor ce apar inevitabil în reţelele electrice.

Se poate vorbi de o sensibilitate ,,intrinsecă'' a motoarelor asincrone la goluri de tensiune, caracterizată prin periculozitatea pe care o prezintă perturbaţia pentru viaţa maşinii, precum şi de o sensibilitate ,,artificială'', determinată de efectele nedorite pe care le au asupra motorului alte elemente, sensibile la goluri de tensiune (aparataj de comandă, circuite secundare, blocaje şi protecţii tehnologice etc.), de care acesta este legat.

În ceea ce priveşte sensibilitatea artificială, remediile sînt studiate şi adeseori o analiză atentă a instalaţiei are ca efect eliminarea acestei sensibilităţi.

Sensibilitatea intrinsecă este în prezent tema unor cercetări mereu mai aprofundate, cunoscîndu-se deja o serie de soluţii tehnice menite fie să reducă această sensibilitate (de exemplu, mărirea momentului de inerţie al ansamblului) fie să folosească integral capacitatea motorului de a suporta golurile de tensiune (de exemplu, protecţii de minimă tensiune dependente de timp, protecţii care controlează tensiunea reziduală directă şi curentul statoric pe durata perturbaţiei, protecţii care controlează alunecarea etc.) Ideea de la care s-a pornit în prezenta lucrare a fost de a găsi condiţiile care să permită eliminarea sensibilităţii intrinsece a motorului asincron la goluri de tensiune, cu riscul ca satisfacerea acestor condiţii să conducă la unele dezavantaje economice (mărirea preţului motorului etc.). Cunoaşterea condiţiilor de stabilitate integrală a motoarelor asincrone la goluri de tensiune poate constitui un criteriu de alegere a motorului adecvat pentru proiectantul instalaţiilor de utilizare sau pentru con-

*) Dorin Marcel Potlog este cercetător ştiinţific principal gradul III la ICENERG.

structorul de maşini electrice, în proiectarea şi execuţia unor asemenea motoare.

În cele ce urmează se prezintă rezultatele unei cercetări întreprinse în scopul determinării condiţiilor de insensibilizare dinamică a motoarelor asincrone la goluri de tensiune.

## 1. Modelul matematic al motorului asincron în regim stabilizat. Expresia cuplului motor

Ecuaţiile care descriu funcţionarea motorului asincron [4], [7] în regim stabilizat exprimate în complex sînt:

$$\frac{\underline{U}_{s1}}{X_s} = (m_s + j)\,\underline{I}_{s1} + j\,\sigma_s'\,\underline{I}'_{R_1} \qquad (1)$$

$$0 = j\,s\,\sigma_R'\,\underline{I}_{s1} + (m_R + js)\,\underline{I}'_{R_1}, \qquad (2)$$

pentru secvenţa directă şi:

$$\frac{\underline{U}_{s2}}{X_s}(m_s + j)\,\underline{I}_{s2} + j\,\sigma_s'\cdot\underline{I}'_{R_2}, \qquad (3)$$

$$0 = j\,(2 - s)\,\sigma_R'\,\underline{I}_{s2} + [m_R + j\,(2 - s)]\,\underline{I}'_{R2} \qquad (4)$$

pentru secvenţa inversă, în care

$$m_s = \frac{R_s}{X_s};\ m_R = \frac{R_R'}{X_R'};\ \sigma_s' = \frac{X_m'}{X_s};\ \sigma_R' = \frac{X_m'}{X_R'} \qquad (5)$$

Cuplul dezvoltat de motor este dat de relaţia:

$$C_m^{\cdot\cdot} = \frac{3\,R_R'\,I_{R'}^2}{s\,\Omega_s} \qquad (6)$$

Din sistemele (1) şi (2), respectiv (3) şi (4), rezultă:

$$I_{R_1}'^2 = s^2 U_{s_1}^2 \left(\frac{\sigma_R'}{X_s}\right)^2 \frac{1}{(s\,\sigma_B - m_s m_R)^2 + (m_R + s m_s)^2} \qquad (7)$$

$$I_{R_2}'^2 = (2 - s)^2\,U_{s_2}^2 \left(\frac{\sigma_R'}{X_s}\right)^2 \frac{1}{[(2-s)\,\sigma_B - m_s m_R]^2 + [m_R + (2-s)\,m_s]^2} \qquad (8)$$

unde

$$\sigma_B = 1 - \sigma_s'\,\sigma_R'$$

Introducînd (7) şi respectiv (8) în relaţia (6) şi considerînd tensiunile de alimentare variabile definite prin:

$$\alpha = \frac{U_{s_1}'}{U_{s_1}};\ \lambda = \frac{U_{s_2}}{U_{s_1}'} \qquad (10)$$

în care

$U_{s_1}'$ şi $U_{s_2}$ sînt componenta directă, respectiv componenta inversă a tensiunii, la o alimentare asimetrică a motorului diferită de cea normală (în cazul alimentării normale simetrice $\alpha = 1$, $\lambda = 0$), se obţine pentru cuplul motor expresia:

$$C_m^{\cdot\cdot} = C_{m_1} - C_{m_2} = \alpha^2 K_C \left[\frac{s}{s^2 A_B + s B_C + 1} - \lambda^2 \frac{2 - s}{(2 - s)^2 A_C + (2 - s) B_C + 1}\right], \qquad (11)$$

în care

$$K_C = \frac{3p\ U_{s_1}^2}{\omega} \cdot \frac{R_R'\,\sigma_R'^2}{X_s^2\,m_R^2\,(1 + m_s^2)} \qquad (12)$$

$$A_C = \frac{\sigma_B^2 + m_s^2}{m_R^2 (1 + m_s^2)} \qquad (13)$$

$$B_C = \frac{2 m_s\,m_R\,(1 - \sigma_B)}{m_R^2\,(1 + m_s^2)} \qquad (14)$$

Dacă se notează:

$$s^2 \frac{A_C}{K_C} + s\,\frac{B_C}{K_C} + \frac{1}{K_C} = \mathrm{f}_{1(s)}\ ;(2 - s)^2 \frac{A_C}{K_C} + (2 - s)\,\frac{B_C}{K_C} + \frac{1}{K_C} = \mathrm{f}_2\,(s), \qquad (15)$$

atunci cuplul motor se poate scrie:

$$C_m = \alpha^2 \frac{s\cdot\mathrm{f}_2 - \lambda^2\,(2 - s)\,\mathrm{f}_1}{\mathrm{f}_1\cdot\mathrm{f}_2} \qquad (16)$$

În cazul motoarelor la care se poate neglija efectul pelicular (motorul cu rotor bobinat şi cel cu colivie cu bare rotunde), coeficienţii $A_c$, $B_c$ şi $K_c$ sînt nişte constante. La motoarele la care trebuie să se considere prezenţa efectului pelicular (motorul cu bare înalte şi cel cu dublă colivie), coeficienţii $A_c$, $B_c$ şi $K_c$ depind de alunecare şi deci expresiile $\mathrm{f}_{1(s)}$ şi $\mathrm{f}_{2(s)}$ iau o formă mai complicată [6].

## 2. Expresia cuplului rezistent

Este determinată de categoria mecanismului acţionat. Se iau în considerare mecanismele cel mai frecvent acţionate cu motoare asincrone, la care cuplul rezistent are expresia [2]:

$$C_R = C_V\,(1 - s)^n + C_C \qquad (17)$$

în care exponentul $n$ are valorile:

0 — pentru mecanisme cu caracteristică rigidă (de exemplu: compresoare cu piston);

1 — pentru mecanisme cu caracteristică liniară (de exemplu: generator debitînd pe o sarcină rezistivă);

2 — pentru mecanisme cu caracteristică pătratică (de exemplu: pompe centrifuge).

Expresia (17) se mai poate scrie:

$$C_R = C_k\,(\eta\,\mathrm{f}_R + \mu) \tag{18}$$

unde s-au notat

$$C_k = C_V + C_C\,;\ \eta = \frac{C_V}{C_V + C_C}\,;$$

$$\mu = \frac{C_C}{C_V + C_C}\,;\ \mathrm{f}_R = (1 - s)^n \tag{19}$$

### 3. Ecuaţia de mişcare a acţionărilor cu motoare asincrone în ipoteza neglijării fenomenelor electromagnetice tranzitorii

Ecuaţia de mişcare se poate scrie [2]

$$J\Omega_s \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} = C_R - C_m \tag{20}$$

sau, ţinînd seama de cele de mai sus:

$$T\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} = \frac{(\eta \mathrm{f}_R + \mu)\mathrm{f}m_1 \cdot \mathrm{f}m_2 - \alpha^2[s\mathrm{f}m_2 - \lambda^2(2-s)\mathrm{f}m_1]}{\mathrm{f}m_1 \cdot \mathrm{f}m_2}, \tag{21}$$

în care

$$T = \frac{J\,\omega}{pC_k}\,;\ \mathrm{f}m_1 = \frac{\mathrm{f}_1}{C_k}\,;\ \mathrm{f}m_2 = \frac{\mathrm{f}_2}{C_k} \tag{22}$$

Separînd variabilele şi integrînd, din ecuaţia (21) se obţine expresia variaţiei alunecării în timp, avînd ca parametri mărimile $\alpha$ şi $\lambda$:

$$t = T\int_{s_0}^{s} \frac{\mathrm{f}m_1 \cdot \mathrm{f}m_2}{(\eta \mathrm{f}_R + \mu)\mathrm{f}m_1 \cdot \mathrm{f}m_2 - \alpha^2[s\mathrm{f}m_2 - \lambda^2(2-s)\mathrm{f}m_1]}\mathrm{d}s \tag{23}$$

Relaţia (23) se mai poate scrie:

$$t = T\,(s - s_0) + T\int_{s_0}^{s} \frac{[1-(\eta \mathrm{f}_R + \mu)\mathrm{f}m_1\mathrm{f}m_2] + \alpha^2[s\mathrm{f}m_2 - \lambda^2(2-s)\mathrm{f}m_1]}{(\eta \mathrm{f}_R + \mu)\mathrm{f}m_1\,\mathrm{f}m_2 - \alpha^2[s\mathrm{f}m_2 - \lambda^2(2-s)\mathrm{f}m_1]}\,ds \tag{24}$$

Integrala

$$I = T\int_{s_0}^{s} \frac{[1-(\eta \mathrm{f}_R + \mu)]\mathrm{f}m_1\mathrm{f}m_2 + \alpha^2[s\mathrm{f}m_2 - \lambda^2(2-s)\mathrm{f}m_1]}{(\eta \mathrm{f}_R + \mu)\mathrm{f}m_1\mathrm{f}m_2 - \alpha^2[s\mathrm{f}m_2 - \lambda^2(2-s)\mathrm{f}m_1]}\,ds \tag{25}$$

se poate rezolva analitic, fie în cazuri particulare, fie adoptînd forme simplificate ale funcţiilor care apar în ea [1]. În general se recomandă [1], [4], [7] folosirea unei metode de integrare numerică pe calculatoare electronice.

În considerentele făcute pentru deducerea expresiei (24) s-au neglijat fenomenele tranzitorii ce apar în motorul electric pe durata perturbaţiei; desfăşurarea fenomenului a fost privită ca fiind o succesiune de regimuri stabilizate.

Considerarea fenomenelor tranzitorii implică utilizarea unor modele matematice mai complexe [1], [4], [8].

Pentru comparaţie, se prezintă în figurile 1 şi 2 variaţia alunecării pe durata unor goluri de tensiune simetrice ($\lambda = 0$), obţinută prin calcul cu ajutorul relaţiei (24) (curbele $s_\varepsilon$), şi cea rezultată prin utilizarea unui model matematic [4], care ţine seama de fenomenele tranzitorii (curbele $s$).

Curbele s-au ridicat pentru un motor cu rotor bobinat 320 kW, 6 kV, care acţionează o pompă centrifugă.

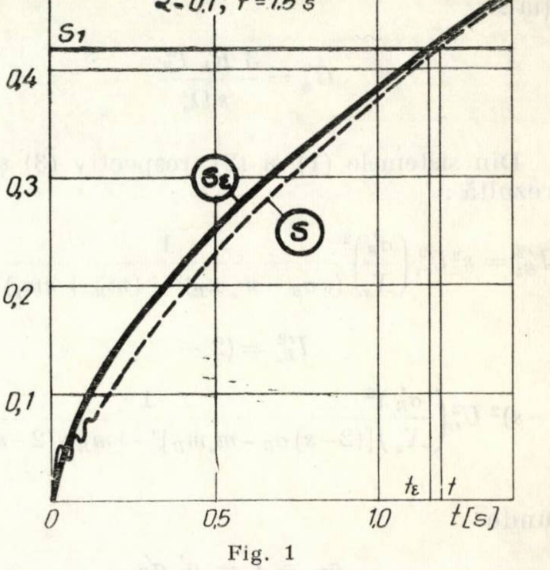



Fig. 1

Se observă că, dacă modelul care neglijează fenomenele tranzitorii nu reprezintă oscilaţiile alunecării produse în prima parte a fenomenului, el descrie totuşi evoluţia alunecării cu o precizie ce poate fi considerată suficientă.

## 4. Sensibilitatea motoarelor asincrone la goluri de tensiune. Curba de aptitudine

Un gol de tensiune este definit ca o perturbaţie a tensiunii de alimentare a motorului, în sensul scăderii componentei directe a acesteia (de la tensiunea nominală $U_{s1}$ pînă la 0,

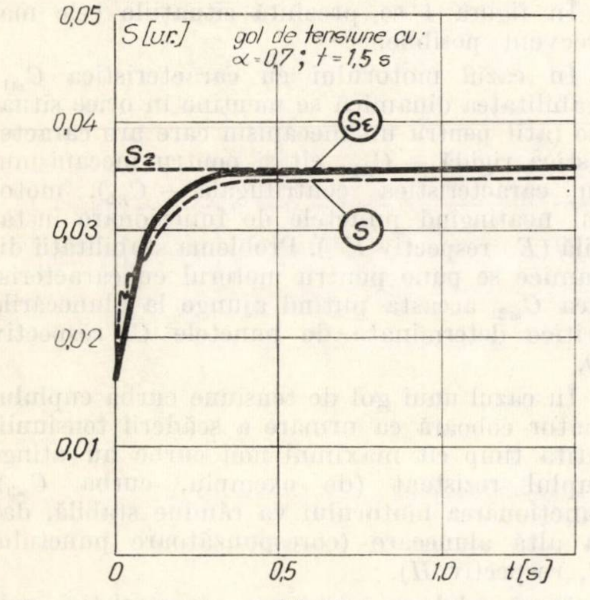



Fig. 2

respectiv $\alpha = 1 - 0$), însoţită sau nu de apariţia unei tensiuni inverse $U_{s2}$, a cărei valoare este legată de componenta directă ($U_{s1}$), prin relaţii univoc determinate de natura defectului care a provocat golul. Se admite că fenomenul poate avea o durată de cel mult 3 s [1], [3], [4].

Posibilitatea ca funcţionarea motorului să fie perturbată de prezenţa unui gol de tensiune este determinată de gradul de sensibilitate al acestuia.

Noţiunea de sensibilitate a motorului la goluri de tensiune este complexă, conţinînd aspecte fizice [1], [3], [4] diverse ca :

*a*) Sensibilitatea dinamică a motorului, care constă în posibilitatea pierderii stabilităţii dinamice (la revenirea tensiunii normale, dacă motorul a atins o alunecare-limită, el nu mai poate reaccelera mecanismul, tinzînd spre un regim de scurtcircuit permanent).

*b*) Sensibilitatea termică a motorului electric (motorul, surprins de revenirea tensiunii normale la o anumită alunecare, reaccelerează, dar nu suficient de rapid încît să nu fie periclitat de solicitările termice).

*c*) Sensibilitatea electrodinamică a motorului electric (motorul depăşind pe durata golului o anumită valoare a alunecării, la revenirea tensiunii normale poate fi pus în pericol de forţele electrodinamice datorate şocului de curent).

Din cele menţionate se poate considera că motorul este pus în pericol în prezenţa unui gol de tensiune, atunci cînd acesta are astfel de caracteristici ($\alpha$, $\lambda$, $t$), care conduc la atingerea unei valori-limită suportabilă a alunecării.

În continuare, se denumeşte această valoare ca „alunecare critică" ($s_{cr}$).

Curba $\alpha = \alpha(t)$, avînd ca parametru pe $\lambda$, pentru care acţionarea atinge valoarea $s_{cr}$, se defineşte drept „curbă de aptitudine" a acţionării [1]. Ea va separa planul ($\alpha$, $t$) în două zone : o zonă în care se găsesc amplasate golurile de tensiune la care motorul este insensibil şi o a doua zonă de goluri de tensiune, în prezenţa cărora motorul este periclitat.

Considerînd $t_{cr}$ intervalul în care motorul atinge în timpul golului alunecarea critică ($s_{cr}$), expresia dependenţei $t_{cr}$ ($\alpha$, $\lambda$) se poate deduce din relaţia (24), în care se fac : $t = t_{cr}$ ; $s_0 = s_n$ ; $s = s_{cr}$.

$$t_{cr} = T(s_{cr} - s_n) + \\ + T\int_{s_n}^{s_{cr}} \frac{fm_1 fm_2[1-(\eta f_R+\mu)]+\alpha^2[sfm_2-\lambda^2(2-s)fm_1]}{fm_1 fm_2(\eta f_R+\mu)-\alpha^2[sfm_2-\lambda^2(2-s)fm_1]} \quad (26)$$

În cazul particular al motoarelor la care se poate neglija efectul pelicular ($A_c$, $B_c$, $K_c$ sînt nişte constante) şi care acţionează mecanisme cu cuplu rezistent constant ($n = 0$, deci $\eta f_R + \mu = 1$), la goluri de tensiune simetrice ($\lambda = 0$) expresia curbei de aptitudine rezultă :

$$t_{cr} = T\left[(s_{cr} - s_n) + \frac{\alpha^2}{2a}\ln\frac{s_{cr}}{s_n} - \right. \\ \left. - \frac{\alpha^2(b-\alpha^2)}{a\sqrt{4ac-(b-\alpha^2)^2}} \operatorname{arctg}\frac{(s_{cr}-s_n)\sqrt{4ac-(b-\alpha^2)^2}}{4c+(s_{cr}+s_n)(b-\alpha^2)}\right. \quad (27)$$

în care s-au notat :

$$a = A_C\frac{C_k}{K_C}\ ;\ b = B_C\frac{C_k}{K_C}\ ;\ C = \frac{C_k}{K_C}$$

Expresia (27) este valabilă în domeniul $0 < \alpha < \alpha_{cr}$, unde $\alpha_{cr}$ satisface ecuaţia :

$$4ac - (b - \alpha_{cr}^2)^2 = 0 \quad (28)$$

şi are valoarea

$$\alpha_{cr} = \sqrt{\frac{c_k}{c_{m1\,max}}} \quad (29)$$

În figura 3 s-a prezentat curba de aptitudine dinamică pentru un motor asincron 440 kW — 6 kV, calculată cu relația (27) (curba *a*), comparativ cu curba de aptitudine obținută prin utilizarea unui model matematic [4],

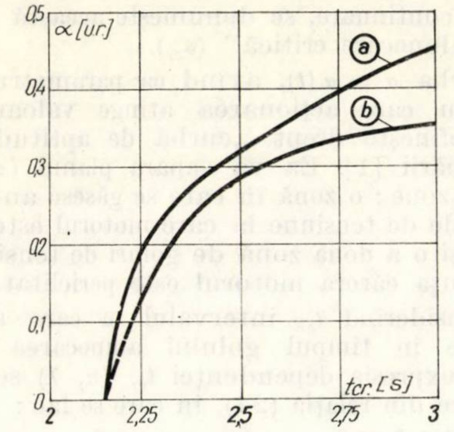



Fig. 3

[8], care consideră și fenomenele tranzitorii (curba *b*). Caracteristicile acționării studiate au fost:

$$p = 24 \quad \sigma_R = 3{,}4885 \quad X_s = 118{,}24 \quad s_n = 0{,}0405$$

$$m_R = 0{,}01695 \quad \sigma_B = 0{,}15474 \quad C_k = 35\ 000$$

$$s_{cr} = 0{,}3942$$

$$m_s = 0{,}01555 \quad R_R = 0{,}16134 \quad J = 16\ 313$$

$$\alpha_{cr} = 0{,}7752$$

## 5. Condiții de insensibilizare dinamică a acționărilor cu motoare asincrone la goluri de tensiune

Stabilitatea dinamică a acționării este condiționată de alura curbelor cuplului motor și a cuplului rezistent.

În figura 4 se prezintă situațiile cele mai frecvent posibile.

În cazul motorului cu caracteristica $C_{m1}$, stabilitatea dinamică se menține în orice situație (atît pentru un mecanism care are caracteristica rigidă — $C_{R1}$, cît și pentru mecanismul cu caracteristica centrifugală — $C_{R2}$), motorul neatingînd punctele de funcționare instabilă (*E* respectiv *F* ). Problema stabilității dinamice se pune pentru motorul cu caracteristica $C_{m2}$, aceasta putînd ajunge la alunecările critice determinate de punctele *C*, respectiv *D*.

În cazul unui gol de tensiune curba cuplului motor coboară ca urmare a scăderii tensiunii. Atîta timp cît maximul noii curbe nu atinge cuplul rezistent (de exemplu, curba $C_{m3}$), funcționarea motorului va rămîne stabilă, dar la altă alunecare (corespunzătoare punctului *G*, respectiv *H*).

Dacă golul are asemenea caracteristici încît curba cuplului motor coboară sub pozițialimită exemplificată prin curba $C_{m4}$, atunci pe durata golului de tensiune alunecarea poate crește peste valoarea alunecării critice, la revenirea tensiunii motorului pierzîndu-și stabilitatea dinamică.

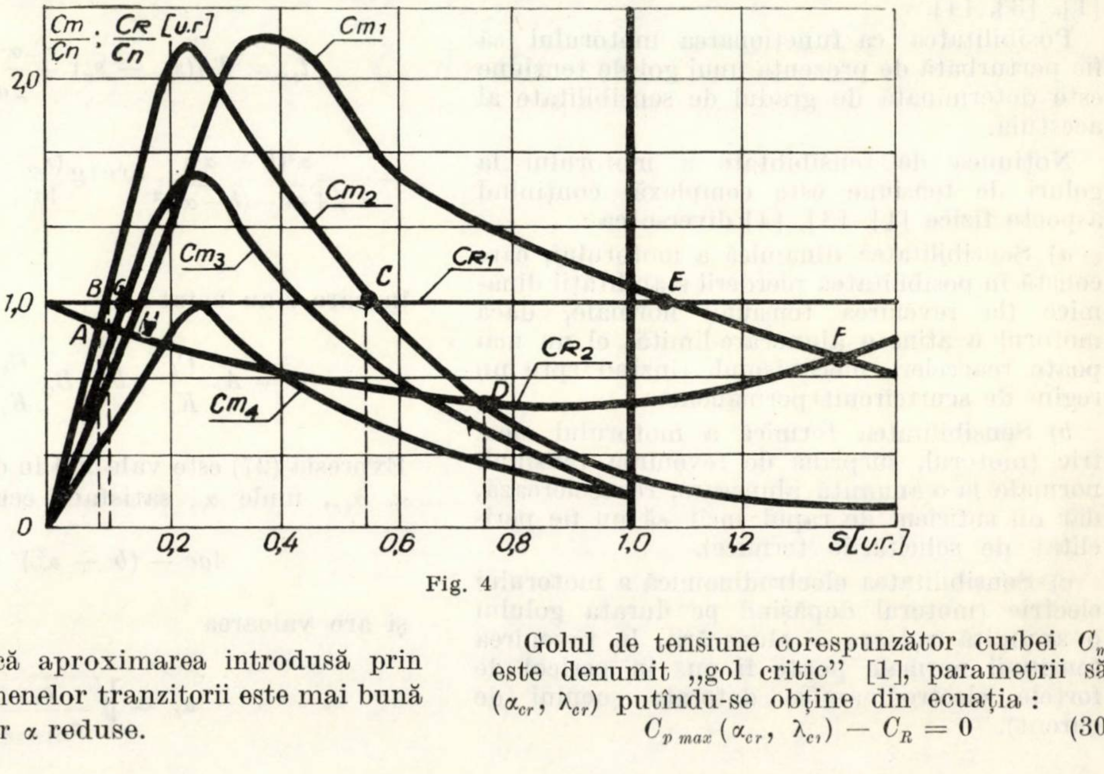



Fig. 4

Se observă că aproximarea introdusă prin neglijarea fenomenelor tranzitorii este mai bună în zona valorilor α reduse.

Golul de tensiune corespunzător curbei $C_{m4}$ este denumit „gol critic'' [1], parametrii săi ($\alpha_{cr}$, $\lambda_{cr}$) putîndu-se obține din ecuația :

$$C_{p\,max}\,(\alpha_{cr},\ \lambda_{cr}) - C_R = 0 \qquad (30)$$

De exemplu, pentru goluri simetrice, cuplu rezistent constant şi motor fără efect pelicular, se găseşte expresia (29).

Exemplificarea acestor aspecte se observă în figurile 1 şi 2. Figura 1 reprezintă cazul unui gol de tensiune cu $\alpha < \alpha_{cr}$, cînd alunecarea motorului atinge pe durata golului alunecarea critică (notată în figură cu $s_1$). Golul reprezentat în figura 2 are $\alpha > \alpha_{cr}$ şi motorul tinde să se stabilizeze la o nouă alunecare (notate în figură cu $s_2$).

Din cele de mai sus rezultă o primă condiţie de stabilitate dinamică la goluri de tensiune :

$$s_{cr} > 1 \tag{31}$$

Condiţia (31) este satisfăcută de anumite motoare cu pornire în sarcină.

Pentru restul motoarelor stabilitatea va fi asigurată dacă curba de aptitudine dinamică este situată în afara domeniului $0 < t_{cr} < 3$ s.

Această condiţie se poate scrie matematic :

$$t_{cr}\,(\alpha = 0) > 3 \text{ s} \tag{32}$$

sau, ţinînd seama de relaţia (23) :

$$T\int_{s_n}^{s_{cr}} \frac{ds}{\eta\, f_R + \mu} > 3 \text{ s}. \tag{33}$$

Pentru cuplul rezistent constant relaţia (33) dă :

$$s_{cr} > s_n + \frac{3pC_k}{J\omega} \tag{34}$$

iar pentru cuplul rezistent centrifugal :

$$s_{cr} > 1 - \frac{1 - s_n - \sqrt{\dfrac{\mu}{\eta}}\,\text{tg}\,\dfrac{3\sqrt{\mu\eta}}{T}}{1 + (1 - s_n)\sqrt{\dfrac{\mu}{\eta}}\,\text{tg}\,\dfrac{3\sqrt{\mu\eta}}{T}} \tag{35}$$

### 6. Soluţii pentru insensibilizarea acţionărilor cu motoare asincrone la goluri de tensiune

Condiţiile (34) şi (35) pot constitui baza unor soluţii tehnice pentru insensibilizarea acţionărilor la goluri de tensiune.

a) *O primă soluţie*, de fapt cunoscută şi aplicată, ar fi adoptarea unui moment de inerţie al ansamblului, astfel încît să fie satisfăcute aceste condiţii.

Din relaţiile (34) şi (35) rezultă :

— pentru cuplul rezistent constant :

$$J_{nec} > \frac{3p\,C_k}{\omega_{cr}(s_{cr} - s_n)} \tag{36}$$

— pentru cuplul rezistent centrifugal :

$$J_{nec} > \frac{3p\,C_k\,\sqrt{\eta\cdot\mu}}{\omega\,\text{arc}\cdot\text{tg}\cdot\dfrac{s_{cr} - s_n}{(1-s_{cr})(1-s_n)\sqrt{\eta/\mu} + \sqrt{\mu/\eta}}} \tag{37}$$

Spre exemplificare s-a calculat pentru motorul studiat la pct. 4 momentul de inerţie necesar ca acţionarea să devină total insensibilă la goluri de tensiune :

$$J_{nec} = \frac{3\cdot 24\cdot 35\,000}{100\,\pi\,(0{,}394 - 0{,}0405)} = $$

$$= 22\,691 \text{ Nms}^2$$

şi

$$\frac{J_{nec}}{J} = 1{,}391$$

Deci la o creştere cu circa 40 % a momentului de inerţie a ansamblului, acţionarea ar fi stabilă dinamic la goluri de tensiune simetrice, indiferent de caracteristicile acestora.

De multe ori, mărirea necesară a momentului de inerţie este dificil de realizat practic, momentul suplimentar atingînd valori mari. De exemplu, în cazul considerat $J_{sup} = 6\,378{,}4$ Nm$s^2$, ceea ce la adoptarea unei raze rezonabile a volantului ($R = 1$ m) conduce la o masă suplimentară de aproximativ 1,3 t.

Adoptarea unui moment de inerţie sporit duce la creşterea proporţională a timpului de pornire a motorului şi este necesară o verificare la încălzire pentru noua durată de pornire.

b) *O altă soluţie* constă în alegerea parametrilor electrici ai motorului astfel încît să fie satisfăcute condiţiile de stabilitate.

Într-adevăr, valorile $s_{cr}$ şi $s_n$ depind de parametrii motorului prin intermediul coeficienţilor $A_c$, $B_c$, $K_c$. Expresiile lui $s_n$ şi $s_{cr}$ pot fi obţinute din ecuaţia :

$$C_{m(\alpha=1,\lambda=0)} = C_R \tag{38}$$

sau

$$\frac{sK_C}{s^2 A_C + sB_C + 1} - [C_V(1 - s)^n + C_C] = 0 \tag{39}$$

Calculînd astfel se obţin :

$$s_{cr} = f_a(A_c, B_c, K_c)\,;\; s_n = f_b\,(A_c, B_c, K_c) \tag{40}$$

Relaţiile (40) reprezintă de fapt o singură ecuaţie independentă cu necunoscutele $A_c$, $B_c$, $K_c$. O altă ecuaţie este furnizată de condiţia de stabilitate (34) sau (35). Mai este nevoie de o a treia ecuaţie, care se poate formula

impunînd, spre exemplu, o valoare pentru raportul

$$\beta_{max}^{\cdot\cdot} = \frac{C_{m\,max\,(\alpha=1,\,\lambda=0)}}{C_{mn}} \tag{41}$$

Din aceste trei ecuații se pot calcula mărimile $A_c$, $B_c$, $K_c$, care vor furniza trei relații între cei cinci parametri electrici ai motorului.

Punînd încă două condiții suplimentare se pot calcula $R_s$, $X_s$, $R'_R$, $X'_R$, $X'_m$.

Spre exemplu, la motorul care antrenează un mecanism cu cuplu rezistent constant, ecuația (39) dă :

$$s_{cr}, s_n = \frac{(K_C - C_k B_C) \pm \sqrt{(K_C - C_k B_C)^2 - 4C_k^2 A_C}}{2\,C_k\,A_C} \tag{42}$$

Dacă se consideră o valoare pentru $s_n$ din relația (34) se obține :

$$s_{cr} = s_n + \frac{3pC_k}{J\omega} \tag{43}$$

În consecință vom avea :

$$s_{cr} - s_n = \frac{\sqrt{(K_C - C_k\,B_C)^2 - 4C_k^2\,A_C}}{C_k\,A_C} \tag{44}$$

$$s_{cr} + s_n = \frac{K_C}{C_k\,A_C} - \frac{C_k\,B_C}{C_k\,A_C} \tag{45}$$

de unde se obține :

$$A_C = \frac{1}{s_{cr} \cdot s_n} \tag{46}$$

$$K_C - C_k\,B_C = C_k\,A_C\,(s_{cr} + s_n) \tag{47}$$

Condiția impunerii unei valori pentru $\beta_{max}$ dă :

$$\beta_{max}^{\cdot\cdot} = \frac{K_C}{C_k(2\sqrt{A_C} + B_C)} \tag{48}$$

Din relațiile (46) și (47) rezultă :

$$B_C = \frac{A_C(s_{cr} + s_n) - 2\beta_{max}\sqrt{A_C}}{\beta_{max} - 1} \tag{49}$$

$$K_C = C_k\,[B_C + A_C\,(s_{cr} + s_n)] \tag{50}$$

Expresiile (12) și (13), ținînd seama de relațiile (5), se pot scrie :

$$B_C = \frac{2\,R_s\,X_m'^2}{R'_R(R_s^2 + X_s^2)} \tag{51}$$

$$K_C = \frac{3\,p}{\omega}\,U_{s1}^2\,\frac{X_m'^2}{R'_R\,(R_s^2 + X_s^2)} \tag{52}$$

de unde

$$R_s = \frac{3}{2}\,\frac{p\,U_{s1}^2\,B_C}{\omega\,K_C} \tag{53}$$

Din sistemul (1), (2) rezultă pentru curentul statoric expresia :

$$I_{s1} = \frac{U_{s1}}{X_s}\left[\frac{m_R^2 + s^2}{(s\,\sigma_B - m_s\,m_R)^2 + (m_R + s\,m_s)^2}\right]^{\frac{1}{2}} \tag{54}$$

$$I_{s1}^2 = \frac{U_{s1}^2}{m_R^2\,R_s^2 + X_s^2)} \cdot \frac{m_R^2 + s^2}{s^2\,A_C + s\,B_C + 1} \tag{55}$$

Dacă se poate neglija efectul pelicular și se cunosc $I_{sn}$ și $K_{sc} = \frac{I_{sc}}{I_{sn}}$, atunci :

$$K_{sc}^2 = \frac{m_R^2 + 1}{m_R^2 + s_n^2} \cdot \frac{s_n^2\,A_C + s_n\,B_C + 1}{A_C + B_C + 1}$$

de unde rezultă :

$$m_R = \sqrt{\frac{1 - s_n^2\,K_{sc}'^2}{K_{sc}'^2 - 1}} \tag{56}$$

în care s-a notat :

$$K_{sc}'^2 = K_{sc}^2\,\frac{A_C + B_C + 1}{s_n^2\,A_C + s_n B_C + 1} \tag{57}$$

Din relația (55) se obține :

$$X_s = \left[\frac{U_{s1}^2}{I_{sn}^2} \cdot \frac{1}{s_n^2\,A_C + s_n B_C + 1}\left(1 + \frac{s_n^2}{m_R^2}\right) - R_s^2\right]^{\frac{1}{2}} \tag{58}$$

și se poate calcula :

$$m_s = R_s/X_s \tag{59}$$

Din (13) rezultă :

$$\sigma_B = [A_C\,m_R^2\,(1 + m_s^3) - m_s^2]^{\frac{1}{2}} \tag{60}$$

Pentru determinarea celorlalţi parametri se face aproximaţia [6]:

$$\underline{I}\mu\,(s_n) \cong \underline{I}\mu\,(0)$$

şi avînd ecuaţia curentului de magnetizare

$$\underline{I}\mu = \underline{I}_s + \underline{I}'_R$$

rezultă:

$$\sigma'_s = \sqrt{1 + m_s^2}\,;\; X'_m = \sigma'_s\, X_s\,;$$

$$\sigma = \frac{1 - \sigma_B}{\sigma'_s}\,; \qquad (61)$$

$$X'_R = X'_m / \sigma'_R\,;\; R'_R = m_R X'_R$$

Aplicînd această metodă de calcul la motorul menţionat, se prezintă în tabelul 1

*Tabelul 1*

| Constanta | La motorul real | La motorul „insensibilizat" |
|---|---|---|
| $A_C$ | 62,64213 | 46,30700 |
| $B_C$ | 1,33740 | 3,09424 |
| $K_C$ | 100.10 $^4$ | 97,24956 ·10 $^4$ |

valorile constantelor $A_C$, $B_C$ şi $K_C$ astfel obţinute, comparativ cu cele reale ale motorului.

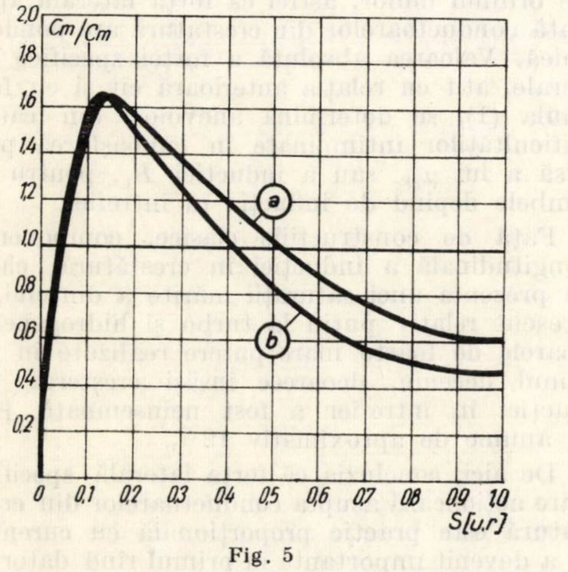



Fig. 5

În figura 5 s-au reprezentat, pentru exemplificare, caracteristica mecanică a motorului real (curba *a*) şi cea a motoului „insensibilizat" (curba *b*).

Calculul s-a efectuat impunîndu-se condiţia ca cuplul maxim să fie acelaşi în ambele cazuri.

Se observă că alegerea noilor parametri pentru motor are efectul unei uşoare deplasări a alunecării de răsturnare inspre dreapta şi modificarea valorii alunecării critice impusă prin condiţia (34).

Considerentele expuse mai sus pot sta la baza unei metode de proiectare a motoarelor asincrone stabile la goluri de tensiune.

## Concluzii

Motoarele asincrone sînt sensibile la prezenţa golurilor de tensiune.

Sensibilitatea dinamică poate fi redusă sau eliminată prin alegerea adecvată a momentului de inerţie al ansamblului şi a parametrilor electrici ai motorului.

Se pot determina condiţiile de insensibilizare a motoarelor asincrone la goluri de tensiune. Condiţiile stabilite permit elaborarea unei metode de proiectare a motoarelor asincrone stabile la goluri de tensiune.

### Bibliografie


[1] Bertrand, P. *Comportement des moteurs lors l'apparition d'un creux de tension.* ACEC, Charleroi, 1967.

[2] Braşovan, M. şi Seracin, E. *Melode noi de proiectare a acţionărilor electrice.* Ed. Acad. R.S.R., Bucureşti, 1968.

[3] Dienne, G. *Répercussions provoquées par les creux de tension sur les installations industrielles.* IRSIA — LABORELEC, Bruxelles, 1967.

[4] Mihăileanu, C. *Efecte de instabilitate dinamică ale golurilor de tensiune din nodurile de sarcină rezistivă, sincronă şi asincronă ale sistemelor electroenergelice.* Teză de doctorat, Bucureşti, 1972.

[5] Mihăileanu, C., Potlog, D. M. şi Rugină, V. *Golurile de tensiune în sistemul electroenergetic al R.S.R. — criteriu în alegerea soluţiilor tehnice de insensibilizare a receptoarelor.* Sesiunea I.C.P.E.T., *rap.* 1-3-2, Bucureşti, 1971.

[6] Nürnberg, W. *Die Asynchronmaschine.* Springer Verlag, Berlin, 1952.

[7] Potlog, D. M. şi Rugină, V. *O metodă de determinare a parametrilor motoarelor asincrone.* În: Energetica, nr. 5, 1972.

[8] Potlog, D. M., Rugină, V., Cepoiu, Gh. şi Ijac, Gh. *Recherches sur la détermination de l'influence des creux de tension sur le fonctionnement des moteurs électriques asynchrones et synchrones de grande puissance utilisés dans l'industrie. Critères pour la détermination des mesures pour la réduction des effets des creux de tension.* VII-ème Conférence Internationale sur l'Energétique Industrielle, Kiev, 1972.

[9] Yamada, Sh. *Transient Characteristics of an Induction Motor under Voltage Dip by a Fault on the Power System.* CRIEPI, Tokio, 1967.


(Articol intrat în redacţie la 9 iunie 1972)

# Vibrația în crestătură a conductoarelor înfășurării statorice a turbo și hidrogeneratoarelor mari

Ing. D. Crețu
ing. I. Hațeganu
și ing. C. Țânțăreanu*)

Experiența de exploatare a turbo și hidrogeneratoarelor mari arată că fiabilitatea lor este în mare măsură determinată de acțiunile ponderomotoare dintre conductoarele înfășurării statorice parcursă de curent și cîmpul magnetic local rezultat, corelat cu tipul de izolație și de consolidare a conductoarelor înfășurării.

Tehnologia clasică de confecționare a înfășurărilor statorice a fost satisfăcătoare pentru puterile uzuale ale generatoarelor pînă în urmă cu 8 — 12 ani. De aceea literatura de specialitate nu a acordat atenția necesară acestei probleme decît pentru regimul de scurtcircuit, iar exploatarea și constructorii au fost surprinși de defecțiunile frecvente ale înfășurărilor statorice la generatoarele sincrone, de puteri tot mai mari, realizate în ultimul deceniu.

Lucrarea de față își propune să prezinte, alături de o succintă expunere teoretică, unele rezultate la care autorii au ajuns cu ocazia a numeroase analize de defecțiuni ale înfășurărilor statorice apărute la cîteva tipuri de generatoare mari, aflate în exploatare.

## 1 Fundamentarea elementelor de calcul

1.1. Conductoarele înfășurării statorice aflate în crestătură sau în afara ei, în zona frontală, în situația în care sînt parcurse de curent, sînt supuse unor forțe, datorită interacțiunii lor cu cîmpul magnetic local [1]. Calculul acestor forțe pentru cazul concret ce interesează se poate face cu relația vectorială :

$$d\bar{F} = i d\bar{l} \times \bar{B} \qquad (1)$$

Rezultă astfel că pe unitatea de lungime de conductor $l$ forța $F$ este proporțională cu produsul dintre componentele rectangulare momentane ale curentului $i$ și inducției magnetice $B$ a cîmpului exterior.

Înfășurările statorice ale generatoarelor sincrone de mare putere se execută în prezent în exclusivitate în două straturi și cu pas scurtat, frecvent cu bare și foarte rar în bobine cu mai multe spire. Înfășurările în bare au conductoarele elementare transpuse pe fiecare bară cu 360° și la mașinile de foarte mare putere cu 540°; la înfășurările cu bobine transpoziția se realizează la capete de bobină sau la capete de grupe de bobine. Toate crestăturile în care se plasează înfășurarea statorică sînt deschise, de secțiune dreptunghiulară, deci au pereții laterali paraleli și sînt orientate în lungul generatoarei miezului. Aceste precizări au fost necesare pentru justificarea celor ce urmează.

Cîmpul magnetic din crestătură la funcționarea generatorului fără sarcină este dirijat cu preponderență pe direcție radială și este produs de curentul de excitație, iar cel corespunzător funcționării în scurtcircuit este orientat transversal și este condiționat de curentul de sarcină, respectiv de curentul barelor din crestătură.

Deoarece conductoarele din crestătură sînt orientate perpendicular pe planul cîmpului magnetic, relația (1) se poate utiliza în scriere scalară pentru determinarea mărimii forței.

1.2. Componenta longitudinală a cîmpului exercită asupra conductorului o forță orientată lateral (transversal pe crestătură) și este a $1/(\mu_{rFe} - 1)$ parte din forța tangențială totală ce se dezvoltă în mașină, restul aplicîndu-se asupra pereților laterali ai dinților, datorită efectului de ecranare [2].

Permeabilitatea relativă a tolelor $\mu_{rFe}$ este de ordinul miilor, astfel că forța laterală aplicată conductoarelor din crestătură are pondere mică. Valoarea absolută a forței specifice laterale, atît cu relația anterioară cît și cu formula (1), se determină anevoios, din cauza dificultăților întîmpinate în cunoașterea precisă a lui $\mu_{rFe}$ sau a inducției $B_1$, pentru că ambele depind de inducția în întrefier.

Față de construcțiile clasice, componenta longitudinală a inducției în crestătură, chiar în prezența unei saturații mărite a dintelui, a crescut relativ puțin la turbo și hidrogeneratoarele de foarte mare putere realizate în ultimul deceniu, deoarece însăși creșterea inducției în întrefier a fost neînsemnată [3], și anume de aproximativ 12%.

De aici, concluzia că forța laterală specifică care acționează asupra conductoarelor din crestătură este practic proporțională cu curentul și a devenit importantă în primul rînd datorită creșterii curentului în crestătură.

1.3. Componenta transversală a cîmpului magnetic din crestătură este produsă de curentul din conductoarele ce îi aparțin și de aceea inducția $B_t$ și curentul sînt în fază. Din considerentele exprimate la paragraful 1.1. rezultă că practic curentul în bară este uniform distribuit pe toată secțiunea cuprului; curentul ce străbate suprafața mărginită de conturul

* Dumitru Crețu este cercetător la ICENERG; Ion Hațeganu este inginer-șef la întreprinderea „Energoreparații"; Cristian Țânțăreanu este cercetător la ICENERG.

*abcda* la înălţimea $x$ de la baza conductoarelor (fig. 1 *a*) va fi în momentul $t$:

$$i_x = \sqrt{2}\, I_s \frac{x}{h_c} \sin \omega t, \qquad (2)$$

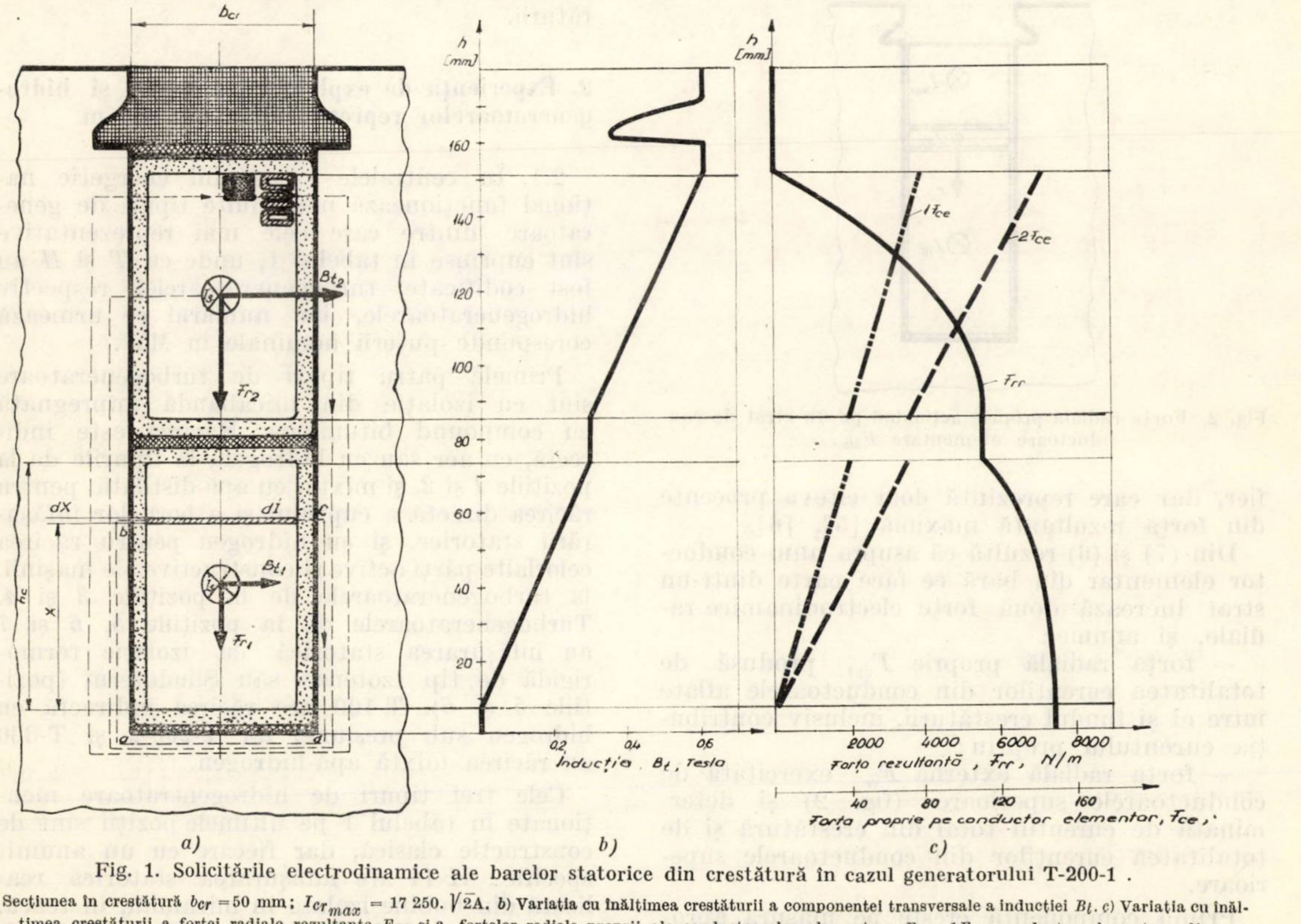



Fig. 1. Solicitările electrodinamice ale barelor statorice din crestătură în cazul generatorului T-200-1 .

*a*) Secţiunea în crestătură $b_{cr} = 50$ mm; $I_{cr_{max}} = 17\,250.\ \sqrt{2}$A. *b*) Variaţia cu înălţimea crestăturii a componentei transversale a inducţiei $B_t$. *c*) Variaţia cu înălţimea crestăturii a forţei radiale rezultante $F_{rr}$ şi a forţelor radiale proprii ale conductoarelor elementare $F_{ce}$: $1F_{ce}$ — conductor elementar plin; $2F_{ce}$ — conductor elementar tubular.

iar componenta transversală a inducţiei, în ipoteza că se neglijează căderea de tensiune magnetică în tole, drumul *cdab*, rezultă:

$$B_{tx} = \sqrt{2}\, I_s \frac{x}{h_c} \frac{\mu_0}{b_{cr}} \sin \omega t. \qquad (3)$$

Forţa electrodinamică ce ia naştere este orientată radial, spre fundul crestăturii în cazul barelor aparţinînd aceleiaşi faze.

Valoarea forţei pe unitatea de lungime a primei bare de pe fundul crestăturii se obţine prin integrare pe toată înălţimea $h_c$ şi este:

$$F_{rl} = \mu_0 \frac{I_s^2}{b_{cr}} \frac{1}{2} (1 - \cos 2\, \omega t) \qquad (4)$$

În cazul în care există mai multe laturi de bobină în crestătură, forţa maximă se obţine pentru crestătura în care toate laturile aparţin aceleiaşi faze; latura cea mai solicitată va fi latura dinspre întrefier. Pentru latura oarecare $k$, forţa maximă ce acţionează în sens radial va fi

$$F_{rk} = (2k - 1)\mu_0 \frac{I_s^2}{b_{cr}} \qquad (5)$$

Forţa radială maximă rezultantă — $F_{rr}$ — se va exercita pe primele conductoare ale primei laturi de pe fundul crestăturii şi va fi:

$$F_{rr} = \sum_{k=1}^{n} (2k - 1)\mu_0 \frac{I_s^2}{b_{cr}} = \mu_0 \frac{I_{cr}^2}{b_{cr}}, \qquad (6)$$

care este proporţională cu pătratul curentului din crestătură şi oscilează între valoarea maximă 6 şi 0, cu frecvenţa dublă faţă de cea a curentului (în cazul acesta 100 Hz).

În aceleaşi ipoteze (asupra conductoarelor elementare dintr-un strat oarecare din bară (fig. 2) se exercită forţa maximă:

$$F_{str} = \frac{\mu_0\, I_{str}}{b_{cr}} [2\, (I_{cr} - I_{sup}) - I_{str}] \qquad (7)$$

care capătă valoarea cea mai mare cînd $I_{sup} = 0$, deci pentru stratul dinspre întrefier.

În cazul în care barele din crestătură aparţin la două faze diferite, forţa maximă rezultantă este mai mică, însă totodată apare o componentă negativă a forţei radiale în bara dinspre întrefier, deci îndreptată spre între-

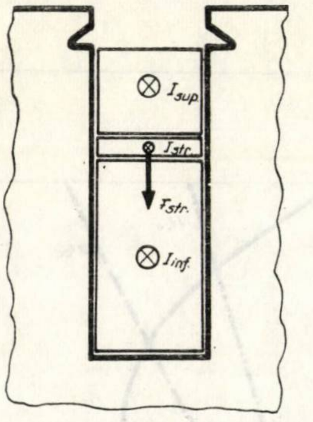



Fig. 2. Forţa radială proprie acţionînd pe un strat de conductoare elementare $F_{str}$.

fier, dar care reprezintă doar cîteva procente din forţa rezultantă maximă [5], [6].

Din (7) şi (6) rezultă că asupra unui conductor elementar din bară ce face parte dintr-un strat lucrează două forţe electrodinamice radiale, şi anume:

— forţa radială proprie $F_{rp}$, produsă de totalitatea curenţilor din conductoarele aflate între el şi fundul crestăturii, inclusiv contribuţia curentului propriu;

— forţa radială externă $F_{re}$ exercitată de conductoarele superioare (fig. 2) şi determinată de curentul total din crestătură şi de totalitatea curenţilor din conductoarele superioare.

Prima componentă creşte pe măsura apropierii de întrefier, iar a doua creşte pe măsura apropierii de fundul crestăturii. Diferenţa maximă între forţele radiale ce se exercită asupra a două conductoare elementare învecinate este maximă la conductoarele aflate înspre întrefier, în timp ce forţa maximă rezultantă se exercită asupra conductoarelor din fundul crestăturii.

## 2. Experienţa de exploatare a turbo şi hidrogeneratoarelor reprezentative din sistem

2.1. În centralele sistemului energetic naţional funcţionează mai multe tipuri de generatoare, dintre care cele mai reprezentative sînt cuprinse în tabelul 1, unde cu *T* şi *H* au fost codificate turbogeneratoarele, respectiv hidrogeneratoarele, iar numărul ce urmează corespunde puterii nominale în MW.

Primele patru tipuri de turbogeneratoare sînt cu izolaţie din micabandă impregnată cu compound bituminos. Răcirea este indirectă, cu aer sau cu hidrogen, la tipurile de la poziţiile *1* şi *2*, şi mixtă, cu apă distilată, pentru răcirea directă a cuprului şi a bornelor înfăşurării statorice, şi cu hidrogen pentru răcirea celorlalte părţi active şi constructive ale maşinii, la turbogeneratoarele de la poziţiile *3* şi *4*. Turbogeneratoarele de la poziţiile *5*, *6* şi *7* au înfăşurarea statorică cu izolaţie termorigidă de tip Izotenax sau Sliudoterm (poziţiile *5* şi *6*). T-100 are răcirea indirectă cu hidrogen sub presiune, iar T-200-2 şi T-330 au răcirea mixtă apă-hidrogen.

Cele trei tipuri de hidrogeneratoare menţionate în tabelul 1 pe ultimele poziţii sînt de construcţie clasică, dar fiecare cu un anumit specific: H-44 are înfăşurarea statorică realizată din bobine izolate în micafoliu, în teacă, pe porţiunea liniară, iar H-170-P şi H-170-L au înfăşurările statorice realizate cu izolaţie

*Tabelul 1*

**Mărimile de calcul ale solicitărilor electrodinamice ale înfăşurărilor statorice în crestătură pentru principalele tipuri de generatoare funcţionînd în sistemul electroenergetic**

| Nr. crt. | Tipul generatorului | Puterea nominală $S_n$, MVA | Tensiunea nominală $U_n$, kV | Curentul pe crestătură $I_{cr}$, A | Lăţimea crestăturii $b_{cr}$, mm | Numărul de crestături $N_{cr}$ | Mărimi calculate: Forţa radială pe latura din fundul crestăturii $F_{rl}$, N/m | Mărimi calculate: Forţa radială pe latura de sub pană $n\ F_{rn}$, N/m | Mărimi calculate: Forţa radială rezultantă maximă $F_{rr}$, N/m | Presiunea pe fundul crestăturii $p$, kN/m² | Forţa maximă pe conductor elementar $F_{ce}$, N/m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | T—50 | 62,5 | 10,50 | 3 440 | 21,6 | 72 | 172,5 | 517,5 | 690 | 32,0 | 16,3 |
| 2 | T—60 | 75,0 | 10,50 | 4 130 | 21,5 | 72 | 248,7 | 746,3 | 995 | 46,3 | 19,8 |
| 3 | T—150 | 176,0 | 18,00 | 11 340 | 35,0 | 42 | 1 040,0 | 3 120,0 | 4 160 | 119,0 | 70,6/109,5 *) |
| 4 | T—200—1 | 236,0 | 15,75 | 17 250 | 50,0 | 30 | 1 870,0 | 5 610,0 | 7 480 | 155,6 | 82,0/145,0 |
| 5 | T—100 | 117,0 | 10,50 | 6 480 | 25,5 | 60 | 517,5 | 1 552,5 | 2 070 | 81,3 | 25,8 |
| 6 | T—200—2 | 236,0 | 15,75 | 8 625 | 30,0 | 60 | 780,0 | 2 340,0 | 3 120 | 104,0 | 58,0/105,0 |
| 7 | T—330 | 388,0 | 24,00 | 18 678 | 47,0 | 36 | 2 325,0 | 6 975,0 | 9 300 | 198,0 | 85,5/124,0 |
| 8 | H—44 | 50,0 | 10,50 | 3 300 | 21,0 | 270 | 18,1 | 199,0 | 652 | 31,1 | 13,4 |
| 9 | H—170—P | 190,0 | 15 75 | 4 640 | 26,0 | 756 | 260,0 | 780,0 | 1 040 | 40,0 | 19,9 |
| 10 | H—170—L | 190,0 | 15,75 | 6 960 | 23,0 | | 670,0 | 2 010,0 | 2 680 | 116,5 | 38,7 |

*) Numărătorul reprezintă valoarea forţei ce se exercită pe conductorul elementar plin, iar numitorul, valoarea forţei ce se exercită pe conductorul elementar tubular.

termorigidă de tip Sliudoterm, respectiv Izotenax. Aceste trei tipuri de hidrogeneratoare sînt răcite cu aer în circuit închis.

Cu excepţia generatorului H-44, toate celelalte turbo şi hidrogeneratoare prezentate în tabelul 1 au înfăşurarea statorică executată din bare.

În primele coloane din tabel se dau valorile mărimilor ce participă, direct sau indirect, la evaluarea diferitelor solicitări termice, electrice, electrodinamice ale înfăşurării statorice. În ultimele cinci coloane se dau mărimile calculate:

— forţele radiale maxime ce se dezvoltă pe lungimea de 1 m în calea de curent de pe fundul crestăturii ($F_{r1}$);

— forţele radiale maxime ce se dezvoltă pe lungimea de 1 m în calea de curent dinspre întrefier ($F_{rn}$);

— forţele radiale maxime ce se dezvoltă pe lungimea de 1 m în conductorul elementar ($F_{ce}$);

— forţele radiale rezultante ce se manifestă pe conductoarele şi izolaţia din fundul crestăturii ($F_{rr}$);

— presiunea pe straturile de izolaţie exercitată de forţa rezultantă ($p$).

Pentru construcţiile clasice de turbo şi hidrogeneratoare

$$F_{rr} \leqslant 3\,000 \text{ N/m}$$

În cazul turbogeneratoarelor de construcţie modernă această forţă creşte sensibil, ajungînd la T-330 în domeniul limitelor atinse în prezent de realizările pe plan mondial [6], [7].

2.2. Defecţiuni repetate şi cu caracter specific s-au înregistrat la H-44, T-200-1 şi T-100. S-ar părea că această stare de lucruri infirmă importanţa forţelor electrodinamice din crestătură în determinarea fiabilităţii înfăşurărilor statorice, pentru că dintre tipurile de generatoare incluse în tabelul 1 H-44 este cel mai puţin solicitat, iar T-200-1 şi T-100 sînt încă departe de cifra record. În parte, acest lucru este adevărat. Înfăşurările sînt supuse la solicitări complexe, de natură electrică, termică, mecanică etc., şi fiecare dintre factorii solicitanţi poate deveni preponderent în anumite împrejurări. Cert este însă că, faţă de cele cunoscute anterior, la construcţiile moderne cu curenţi mari în crestătură, forţele electrodinamice radiale au crescut atît de mult, încît de ele trebuie să se ţină seama încă din faza de proiectare pentru a se lua măsurile necesare, constructive şi tehnologice.

Din analiza defecţiunilor repetate amintite rezultă unele măsuri ce trebuie luate. Aceste considerente ne determină să prezentăm mai în detaliu defecţiunile şi modul în care ele s-au dezvoltat şi s-au manifestat.

2.2.1. H-44 are înfăşurarea statorică realizată în două straturi din bobine identice cu cîte trei spire fiecare. În fiecare cale de curent sînt cîte 16 conductoare elementare aşezate pe două coloane (fig. 3). Calea de curent este

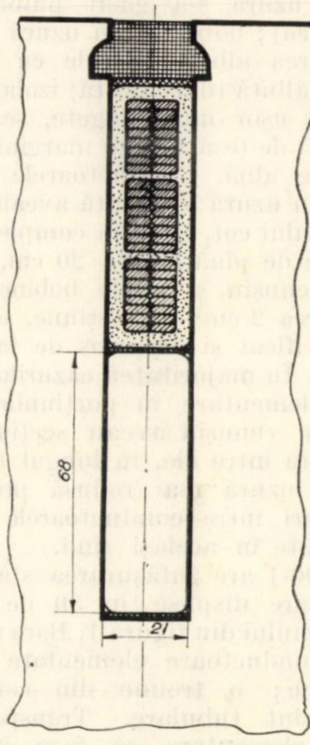



Fig. 3. Secţiune în crestătura hidrogeneratorului H-44.

împărţită în două fascicule de cîte opt conductoare elementare fiecare, ce se transpun o singură dată la mijlocul ei (după nouă bobine, respectiv 27 de spire). Fasciculele nu au izolaţie suplimentară faţă de cea a conductoarelor elementare. Conductoarele elementare sînt izolate fiecare cu fibră de sticlă şi rigidizate cu lac.

Spirele sînt izolate cu bandă de sticlă, iar între cele trei spire din bobină se introduc straifuri de micanită de 1,5–2,0 mm grosime. Spirele se fixează între ele cu bandă albă, se acoperă cu un strat de lac de bachelită pentru rigidizare, după care sînt izolate cu o teacă din micafoliu pe porţiunea liniară şi apoi presate la cald.

Defecţiunile repetate se manifestau sub formă de scurtcircuit la masă, de obicei la latura de bobină din stratul dinspre întrefier şi cu precădere înainte de ieşirea din crestătură sau imediat după ieşirea din crestătură, în zona în care bobina face primul cot. Defecţiunile au apărut după circa 33 000 ore de funcţionare. După cîteva reparaţii succesive, constînd din

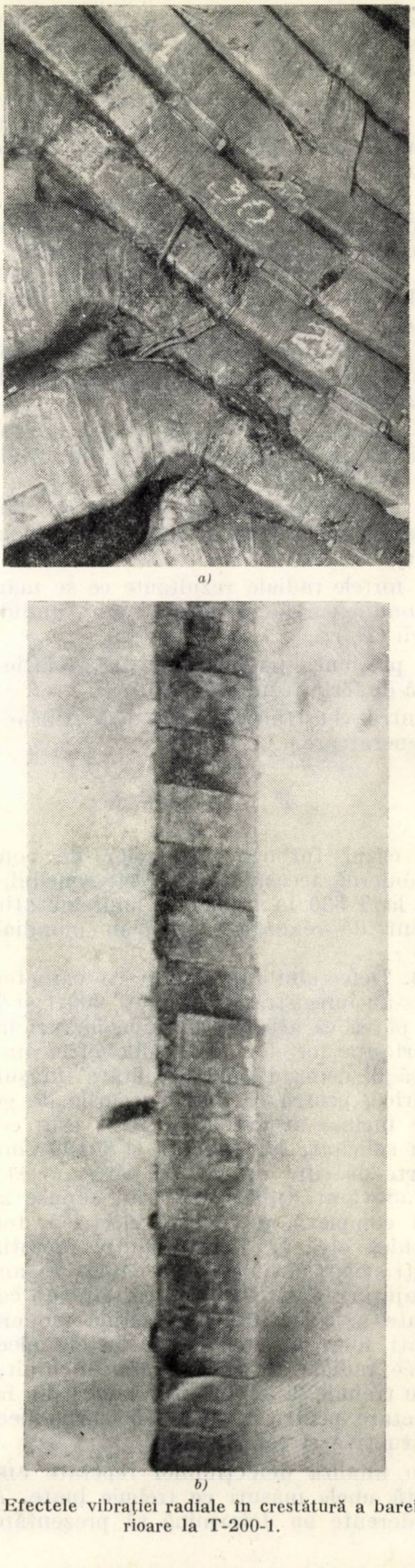
înlocuirea bobinelor afectate, dată fiind starea generală a izolației, s-a hotărît refacerea integrală a înfășurărilor.

Analiza bobinelor defectate arată că scurtcircuitul la masă se produce în urma deteriorării izolației bobinei din cauza extinderii scurtcircuitului între două spire în cadrul aceleiași bobine. În afară de urmele lăsate de arcul electric între teacă și conductoarele elementare, la bobinele defecte și la cele cu grad avansat de uzură s-a găsit pulbere verzuie (oxid de cupru); bobinele cu uzură mai redusă aveau pulberea albă, iar cele cu început de uzură aveau albită (decolorată) izolația spirelor, care, frecată ușor între degete, se fragmenta în bucăți mici de țesătură cu margini neregulate și în pulbere albă. Conductoarele elementare la bobinele cu uzură avansată aveau, în special în zona primului cot, izolația complet dispărută pe o lungime de pînă la 15—20 cm, cuprul era colorat în cenușiu și unele bobine prezentau focare de circa 2 $cm^2$ în secțiune, cuprul fiind complet zgurificat și desprins de fasciculul de conductoare. În majoritatea cazurilor însă conductoarele elementare în porțiunile desizolate și colorate în cenușiu aveau secțiunea redusă și spații libere între ele, în lungul fasciculului. Bobinele cu uzură mai redusă prezentau de obicei atingeri între conductoarele elementare alăturate aflate în același rînd.

2.2.2. T-200-1 are înfășurarea statorică realizată din bare dispuse în 30 de crestături, conform desenului din figura 1. Bara se compune din 72 de conductoare elementare așezate în patru coloane; o treime din conductoarele elementare sînt tubulare. Transpoziția conductoarelor elementare se face independent între două coloane, astfel că în bară se formează două semibare ce se leagă galvanic numai la capete, în teaca de capăt.

Apa distilată pentru răcirea directă a cuprului circulă prin conductoarele elementare tubulare cu o presiune de 35—25 $N/cm^2$. Conductoarele elementare pline sînt izolate cu email și fibre de sticlă, iar cele tubulare numai cu email. Între semibare există izolație de circa 1,0 mm grosime. Bara este izolată cu micabandă și impregnată cu compound oleobituminos.

Defecțiunile sistematice ale înfășurării statorice constau în pierderea etanșeității circuitului de răcire cu apă distilată, respectiv prin apariția de pori sau fisuri în conductoarele elementare tubulare, la sudarea conductoarelor elementare de teaca de capăt etc. La acest tip de generator, după 6—18 luni de funcționare se constată slăbirea fixării a circa 80% din penele de închidere a crestăturii, majoritatea penelor terminale se deplasează spre exterior, iar ștraifurile de pertinax dintre ele și bară se deplasează mai mult decît penele spre cotul barei (unele dintre ele se rup). În figura



a)

b)

Fig. 4. Efectele vibrației radiale în crestătură a barei superioare la T-200-1.

4 se arată o bară din stratul dinspre întrefier care a cedat la încercarea cu tensiune mărită în zona în care penele erau complet slăbite pe o lungime de circa 1,5 m; izolaţia barei prezintă urme accentuate de frecare de pereţii pachetului de tole; uzura izolaţiei era de circa 2,5–3,0 mm adîncime în dreptul pachetului, faţă de izolaţia iniţială, neuzată, din dreptul canalelor de ventilaţie. Acesta este un exemplu elocvent de efect al vibraţiei barei în crestătură sub acţiunea forţelor electrodinamice.

2.2.3. T–100 are înfăşurarea statorică realizată din bare dispuse în 60 de crestături. Bara se compune din 80 de conductoare elementare pline, dispuse în două coloane şi care suferă o transpoziţie completă de 360°.

Conductoarele elementare sînt izolate cu email şi fibre de sticlă, iar bara cu izolaţie Sliudoterm este „pozată" în crestătură după tehnologia clasică (sub pană, între bare şi pe fundul crestăturii se introduc ştraifuri de pertinax pentru fixarea barei în direcţie radială).

Defecţiunile sistematice constau în:

— slăbirea penelor de capăt de închidere a crestăturilor;

— deplasarea spre exterior a penelor de capăt;

— deplasarea spre exterior şi uneori ruperea ştraifurilor de pertinax de sub pană;

— slăbirea, deplasarea şi în unele cazuri pierderea distanţoarelor dintre bare în zona frontală;

— „căderea" bobinajului în zona frontală, fapt ce se constată prin deplasarea inelelor de consolidare cu circa 2–4 mm din consolele de susţinere a inelelor;

— „tasarea" şi expulzarea izolaţiei inelelor de consolidare în locul de sprijin al barelor;

— ruperea majorităţii sforilor de legătură a barelor de inele şi a distanţoarelor de bare, în special în partea superioară a zonei frontale;

— urme de frecare a izolaţiei barelor în dreptul primelor pachete de tole (10–20 cm) din ambele părţi laterale ale miezului, ca urmare a vibraţiei barelor atît în direcţie radială cît şi axială.

Constatarea acestor defecţiuni s-a făcut după circa 12–20 luni de funcţionare; în unul din cazuri oprirea grupului s-a făcut prin protecţie, ca urmare a unui scurtcircuit bifazat în zona frontală. Acesta s-a produs prin mijlocirea inelului de consolidare, care, după ce suferise deteriorarea propriei izolaţii în zonele de contact cu barele, a alterat şi izolaţia barelor.

2.3. Explicaţiile acestor defecţiuni tipice în situaţiile prezentate (extreme în privinţa mărimii forţelor aplicate conductoarele din crestătură) sînt expuse în cele ce urmează.

2.3.1. Izolaţia tip teacă a bobinelor statorice la H–44 în execuţie clasică, fără compoundare, prezintă multe incluziuni de aer între straturile tecii, dar mai ales între teacă şi mănunchiul de conductoare.

În timpul funcţionării, descărcările parţiale între conductoare şi teacă produc în timp modificări ale structurii lacului de rigidizare şi impregnare a benzii de sticlă; are loc degajarea substanţelor volatile din lac şi modificarea proprietăţilor fizice ale materialului rămas încă pe conductoare.

În faza următoare, avîndu-se în vedere poziţia verticală a conductoarelor, lacul de rigidizare se depozitează sub formă de praf spre partea interioară a zonei afectate, făcînd să dispară rigiditatea mănunchiului de conductoare elementare, astfel că forţele ce acţionează asupra fiecărui conductor în parte, funcţie de distanţa dintre punctele de sprijin şi rigiditatea proprie a conductorului, provoacă vibraţii diferite ca amplitudine şi frecvenţă. Totodată, apare o decolorare intensă pînă la alb a izolaţiei mănunchiului de conductoare [8], [9].

Mai departe, efectele vibraţiilor se amplifică prin faptul că se macină izolaţia din fibre de sticlă a conductoarelor elementare, favorizînd atingerile metalice între acestea. Cît timp atingerile au loc între conductoarele elementare din acelaşi fascicul din calea de curent, efectele nu sînt importante, pentru că conductoarele elementare dintr-un fascicul sînt legate în paralel la tecile capetelor de bobină şi uneori au ca rezultat micşorarea secţiunii pe înălţime a conductoarelor elementare datorită vibraţiilor şi curenţilor de egalizare relativ mici.

În momentul însă cînd contactul metalic se face între două conductoare elementare din fascicule diferite (fasciculele izolate între ele suferă o transpoziţie la mijlocul fazei, unde diferenţa de tensiune este de 6,3 V) apare un curent de egalizare care încarcă suplimentar conductoarele elementare şi face să se încălzească excesiv zona de contact.

Din această cauză conductoarele elementare în atingere aparţinînd celor două fascicule devin casante în zona de contact şi ca urmare se întrerupe continuitatea lor. Conductoarele elementare rămase în circuit sînt solicitate termic, fapt care conduce rapid la deteriorarea izolaţiei spirelor alăturate şi determină între spire un scurtcircuit ce se extinde la masă.

În cazul de faţă, exemplul este tipic pentru forţele electrodinamice ce acţionează asupra conductoarelor elementare din crestătură şi care, deşi mici — valoarea maximă calculată este de 13,4 N/m (tabelul 1, poz. 8, col. 11) — pot duce la urmări grave dacă există condiţii prielnice. Condiţiile care au favorizat extinderea efectelor vibraţiilor au fost:

*a*) prezenţa incluziunilor de aer în masa izolaţiei la o înfăşurare cu tensiune de lucru relativ mare, $10{,}5 \cdot \sqrt{2}$ kV;

*b*) rigidizarea nestabilă în timp a mănunchiului conductoarelor elementare;

*c*) slăbirea în timp a presării bobinelor de către penele de închidere a crestăturii, fapt confirmat de alunecarea întregii înfășurări statorice pe verticală, în lungul crestăturii, cu circa 3 cm;

*d*) existența unui sistem de transpoziție deficitar (o singură transpoziție la mijlocul căii de curent) permite apariția unei diferențe de potențial relativ mare.

2.3.2. Bara înfășurării statorice a generatorului T-200-1 are o izolație relativ compactă, în care incluziunile de aer sînt puține la număr și de dimensiuni microscopice. Temperatura cuprului de bare la sarcina nominală este, la acest generator, de 70°C, în loc de 120°C, cît permite izolația clasa B (așa cum de altfel se prezintă situația la mașinile clasice), deoarece cuprul este răcit direct cu apă distilată. Din acest punct de vedere izolația este puțin solicitată și durata de viață mult prelungită, dacă se are în vederea legea celor 10 grade [10]. Deoarece temperatura fierului este în jur de 83°C, alungirile fierului miezului statoric și cuprului din bare sînt relativ aceleași, iar izolația nu lucrează la dilatări și la comprimări în lungul barei.

În aceste condiții izolația barelor generatorului T-200-1 este solicitată numai electric, datorită tensiunii de serviciu de 15,75. $\sqrt{2}$ kV, și mecanic, sub acțiunea forțelor electrodinamice din crestătură. Defecțiunile care încep să apară după puțin timp de la punerea în funcțiune se pot explica astfel:

*a*) Sub acțiunea temperaturii, a presiunii inițiale exercitate de pană și a forțelor electrodinamice din conductoarele parcurse de curent, masa de compound se tasează în timp, umplînd spațiile libere din crestătură.

*b*) Această tasare relativ mică a masei de impregnare reduce dimensiunea barelor pe direcția radială (înălțime) pe seama creșterii lățimii. În felul acesta se creează spațiul pentru apariția vibrației barei în crestătură.

*c*) Aceeași posibilitate la dimensiuni mai reduse apare și pentru conductorul elementar, dacă se ține seama de faptul că la acest tip de generator pe conductorul elementar tubular se obține forța maximă de 145 N/m, care este și cea mai mare valoare întîlnită în coloana 11 din tabelul 1.

Diferența dintre forțele proprii ce acționează asupra conductoarelor elementare tubulare ale turbogeneratoarelor T-200-1 și T-330, cu toate că ultimul are curentul în crestătură și componenta transversală a inducției mai mari, se explică prin faptul că la T-200-1 se folosesc conductoare elementare tubulare de dimensiuni mai mari*), prin care circulă în consecință curenți elementari mai mari: 170 A față de 126 A.

În figura 1*c*, în cazul particular al lui T-200-1, pentru încărcarea nominală se prezintă forța proprie ce acționează asupra conductoarelor elementare funcție de poziția ocupată de acestea pe înălțimea crestăturii; diferența dintre caracteristicile 1 și 2 este urmarea deosebirilor dintre dimensiunile și respectiv curenții care circulă prin cele două tipuri de conductoare elementare: plin și tubular.

Detectarea efectelor vibrațiilor conductoarelor elementare este mai ușoară decît detectarea efectelor vibrației barei în crestătură, prin faptul că o cît de mică fisură sau por apărut în peretele conductorului elementar tubular se constată imediat, prin prezența hidrogenului în apa distilată, pe cînd uzura izolației barei prin frecare de pereții crestăturii trebuie să avanseze mult în grosimea izolației pentru a apărea punerea la masă (fig. 4).

În aceste tipuri de defecțiuni, rolul principal îl are valoarea mare a forțelor ce se exercită asupra conductoarelor corelat cu tipul de izolație.

În sprijinul afirmației de mai sus vin exemplele mașinilor de aceeași construcție, cu aceeași izolație însă de puteri mai mici (inclusiv T-150, care are tensiunea la borne de 18· $\sqrt{2}$ kV); forțele ce se exercită în crestătură sînt mult inferioare cazului analizat și astfel de defecțiuni nu s-au constatat.

2.3.3. Bara turbogeneratorului T-100 are izolație tip Sliudoterm. Aceasta este compactă, cu bună aderență pe conductoarele elementare, rigidă, teoretic fără incluziuni de aer.

La solicitările mecanice se comportă ca un sistem monolit ce nu permite joc la nivelul conductoarelor elementare. Dimensiunile barei și proprietățile izolației se păstrează în timp. Defecțiunile înfășurării statorice amintite se explică în modul următor:

*a*) Barele rigide sînt fixate în crestătură pe direcție radială printr-un sistem, de asemenea, rigid; lateral, între bară și peretele crestăturii, din proiectare, există un interval pînă la 0,5 mm.

*b*) Sub acțiunea simultană a forțelor electrodinamice, radiale și tangențiale (deși acestea au valori modeste), apare — în timp — mai întîi o vibrație a barei în direcție tangențială, care ulterior, din cauza uzurii materialelor prin frecare (pene — ștraifuri — bară), se completează cu o vibrație și în direcție radială.

*c*) În zona pachetelor terminale ale miezului, efectele acțiunii forțelor electrodinamice sînt coroborate cu deficiențele principiale ale sistemului de consolidare a capetelor frontale

*) T-200-1 are conductorul elementar tubular de dimensiuni exterioare 5,1 × 8,8 mm și dimensiuni interioare 1,9 × × 5,5 mm față de 3,9 × 8 mm și, respectiv, 1,7 × 5,7 mm la T-330.

ale barelor, care prezintă certitudinea existenţei posibilităţilor de apariţie a vibraţiilor.

Urmele vibraţiilor s-au putut constata atît în crestătură cît şi în întreg sistemul de consolidare a zonei frontale, unde iniţial izolaţia rigidă a barelor a strivit izolaţia inelelor de consolidare şi ulterior inelul metalic a deteriorat izolaţia barelor, provocînd scurtcircuitul bifazat amintit în paragraful 2.2.3.

De aici concluzia că izolaţia termorigidă, net superioară izolaţiei termoplastice din micabandă impregnată cu compound bituminos, se poate comporta nesatisfăcător şi la solicitări moderate, dacă nu se prevăd un sistem şi o tehnologie adecvată de fixare a barelor în crestătură şi în zona frontală.

Literatura de specialitate [7] recomandă o fixare prin precomprimare elastică şi stabilă în timp, care să depăşească valoarea forţelor electrodinamice.

**3) Forţele de vibraţie—nou criteriu pentru alegerea tipului de izolaţie şi a soluţiei constructive**

Considerarea forţelor de vibraţie a barelor printre criteriile de bază în alegerea înfăşurării statorice a grupurilor de mare putere se răsfrînge în direcţiile :

*a*) Corelarea tipului de izolaţie a barelor şi a modului de fixare în crestătură cu mărimea forţelor rezultate.

*b*) Adoptarea de măsuri constructive pentru reducerea acestor forţe.

Pînă la apariţia generatoarelor de foarte mare putere tipul de izolaţie se alegea în funcţie de tensiunea de lucru şi solicitările termice.

Izolaţia tip teacă cu micafoliu se utilizează pentru tensiuni pînă la 10,5 kV, izolaţia cu micabandă impregnată cu compound bituminos, pînă la 18 kV, iar izolaţia termorigidă tip Izotenax, Micadur, Sliudoterm etc., pînă la tensiuni de 27 kV.

Experienţa de exploatare a arătat că neglijarea forţelor de vibraţie din crestătură duce la avarii grave. Din datele existente privind frecvenţa defecţiunilor înfăşurărilor statorice ale generatoarelor în funcţiune rezultă că pentru fiecare tip de izolaţie există un prag al forţelor de vibraţie, ce nu trebuie depăşit dacă se doreşte asigurarea unui grad înalt de disponibilitate a grupurilor.

Izolaţia continuă cu micafoliu (teacă) şi cu tehnologie clasică este indicat să se limiteze la tensiuni pînă la 10,5 kV, indiferent de valoarea forţelor ce se exercită asupra conductoarelor din crestătură (cazul hidrogeneratoarelor H-44 din tabelul 1, poz. 8).

Izolaţia pe bază de micabandă impregnată cu compound bituminos în vacuum trebuie să se utilizeze pentru turbo şi hidrogeneratoare cu forţe maxime pe fundul crestăturii astfel :

— pînă la 2 500 N/m, cu răcire indirectă a înfăşurării statorice ;

— pînă la 4 500 N/m, cu răcire directă cu apă distilată a înfăşurării statorice.

Izolaţia termorigidă, cu barele înfăşurării consolidate în crestătură prin precomprimare elastică în direcţie radială şi tangenţială, este indicat să se utilizeze pentru generatoarele la care forţele radiale pe fundul crestăturii nu depăşesc 10 000 N/m. Această ultimă recomandare ar putea fi extinsă şi pentru forţe mai mari, în situaţia în care s-ar dispune şi de alte date din exploatare.

Toate recomandările de mai sus au un caracter orientativ, deoarece rezultă dintr-o experienţă de exploatare a unor tipuri de maşini diferite ca putere, fabrică constructoare, an de fabricaţie şi condiţii de exploatare. Luarea unor măsuri suplimentare pentru asigurarea omogenităţii execuţiei înfăşurărilor, a unei calităţi superioare a materialelor şi a unei exploatări care să nu solicite suplimentar termic şi mecanic izolaţia ar putea duce la deplasarea pragurilor amintite către valori ceva mai mari.

Dacă în urma dimensionării optime a generatorului rezultă forţe care depăşesc pragul tipului de izolaţie adoptat, atunci limitările se răsfrîng asupra soluţiei constructive în vederea reducerii forţelor.

În capitolul 1 s-a arătat că valoarea forţei radiale rezultante în crestătură este determinată de valoarea curentului momentan din crestătură şi de geometria crestăturii. La maşinile sincrone trifazate, normal proiectate, curentul momentan maxim, deci şi forţa maximă, se obţin în crestăturile în care ambele bare aparţin aceleiaşi faze. În aceste condiţii, valoarea absolută a curentului şi a forţei în aceste crestături se reduce fie prin adoptarea unor bobinaje cu număr sporit de căi de curent în paralel, simultan cu creşterea proporţională a numărului de crestături (vezi T-200-2 faţă de T-200-1 în tabelul 1, poziţiile 4 şi 6), fie prin redimensionarea maşinii cu un număr sporit de crestături, simultan cu adoptarea unei valori mărite a tensiunii la borne, respectiv micşorarea curentului în crestătură (fig. 5).

Ambele soluţii, în general, presupun maşini mai scumpe, prin faptul că se utilizează un volum mai mare de izolaţie, însă reduc riscurile de defectare a înfăşurării din cauza vibraţiei.

O altă metodă de reducere a forţelor radiale rezultante din crestătură constă în eliminarea posibilităţii ca barele dintr-o crestătură să aparţină aceleiaşi faze. Acest lucru se obţine la maşinile cu înfăşurări multiple, independente, decalate şi respectiv defazate cu 30 şi 20°, în cazul maşinilor cu dublă, respectiv cu triplă înfăşurare [5], care pot debita în sisteme

diferite sau pot fi conectate în paralel pe partea de înaltă tensiune, după aducerea lor în fază prin alegerea adecvată a grupei de conexiuni a transformatoarelor-bloc.

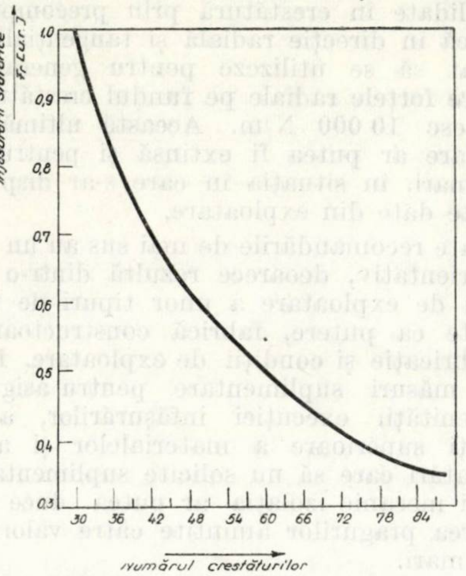



Fig. 5. Forţa radială relativă acţionînd în crestătură asupra barelor înfăşurării statorice în funcţie de numărul crestăturilor, la puterea nominală dată.

## Concluzii

*a*) Forţele electrodinamice radiale din crestăturile generatoarelor sincrone de foarte mare putere trebuie luate în consideraţie încă din faza de proiectare, pentru a lua măsuri în vederea asigurării unei fiabilităţi sporite în exploatare.

*b*) Pe baza defecţiunilor constatate în exploatare şi a verificărilor efectuate prin calcule se pot adopta ca suficiente următoarele praguri ale forţelor radiale rezultante, corelate cu tipul de izolaţie;

- izolaţie din micabandă impregnată cu compound bituminos şi cu răcire indirectă a înfăşurării statorice 2 500 N/m
- izolaţie din micabandă impregnată cu compound bituminos şi cu răcire directă cu apă distilată a înfăşurării statorice 4 500 N/m
- izolaţie termorigidă Izotenax, Micadur, Sliudoterm, cu răcire directă cu apă distilată a înfăşurării statorice 10 000 N/m

*c*) Fixarea barelor în crestătură în scopul eliminării vibraţiilor este obligatorie pentru toate tipurile de izolaţie; la maşinile mari consolidarea barelor cu izolaţie termorigidă trebuie să se facă elastic, prin precomprimare, atît pe direcţie radială cît şi tangenţială.

*d*) Pentru generatoarele de foarte mare putere se pot adopta din faza de proiectare măsuri constructive, care să limiteze forţele de vibraţie din crestătură pînă la limitele corespunzătoare tipului de izolaţie ales.

**Notaţii**

- $i$ — valoarea momentană a curentului din conductorul considerat, A
- $I_s$ — valoarea efectivă a curentului în latura de spiră, A
- $I_{cr}$ — valoarea efectivă a curentului total (suma algebrică) din crestătură, A
- $I_{str}$ — valoarea efectivă a curentului din straturile conductoare elementare, A
- $I_{sup}$ — valoarea efectivă a curentului din straturile superioare stratului considerat, A
- $\overline{B}$ — valoarea momentană a inducţiei cîmpului magnetic local, T
- $B_t$ — componenta tangenţială a inducţiei magnetice în crestătură, T
- $B_l$ — componenta longitudinală a inducţiei magnetice în crestătură, T
- $b_{cr}$ — lăţimea crestăturii, m
- $h_c$ — înălţimea secţiunii conductoarelor elementare dintr-o latură de spiră, m
- $x$ — înălţimea curentă a stratului de conductoare din latura de spiră, m
- $d\overline{l}$ — elementul de lungime de conductor filiform, orientat în sensul pozitiv al curentului, m
- $\mu_0$ — permeabilitatea vidului, H/m
- $\mu_{rFe}$ — permeabilitatea relativă a fierului, u.r.
- $k$ — numărul laturii de bobină pe înălţimea crestăturii
- $dF$ — forţa electrodinamică ce acţionează asupra elementului de lungime de conductor, N
- $F_r$ — forţa electrodinamică radială pe unitatea de lungime, N/m
- $F_l$ — forţa electrodinamică longitudinală pe unitatea de lungime, N/m
- $F_{str}$ — forţa electrodinamică radială proprie unui strat de conductoare elementare pe unitatea de lungime, N/m
- $F_{rr}$ — forţa electrodinamică radială rezultantă pe unitatea de lungime, N/m

**Bibliografie**


[1] T i m o t i n, A. şi H o r t o p a n, V. *Lecţii de bazele electrotehnicii*, vol. 1. Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1964.

[2] D o r d e a, T. *Curs de maşini electrice*, vol. 1. Institutul politehnic Timişoara, 1967.

[3] A b e g g, K. şi R a u h u t, P. *Elektrische Grossmaschinen Gestern, Heute und Morgen*. În : Bull. Schweiz. Elektrotechn. Ver., 62, nr. 18, 1971, p. p. 865–874.

[4] H o l l e y, Ch. H. şi W i l l y o u n g, D. M. *Stator Winding Systems with Reduced Vibratory Forces for Large Turbine-Generators*. În : I.E.E.E. Trans. Pas., 89, nr. 8, 1970, p. 1922–1933.

[5] C r e ţ u, D., T i n ţ ă r e a n u, C. şi H a ţ e g a n u, I. *Forţele electrodinamice radiale proprii şi totale din crestăturile generatoarelor cu înfăşurări multiple* (lucrare în curs de apariţie).

[6] C a l c i a, C. *Recenti progressi nella construzione di turbogeneratori di grande potenza*. În : Elettrotecnica, nr. 12, 1970, p. 705–717.

[7] K r a n z, R. D. *Der Gang der Entwicklung zum Gross-Turbogenerator*. În : Elektrotechn. Z., A, 91, nr. 12, 1970, p. 668–675.

[8] K u l a k o v s k i, V. B. *O pricinah obesivecivania izoliaţii elementarnih provodnikov ghidrogheneratorov*. În : Elektriceskie stanţii, nr. 10, 1971, p. 87–88.

[9] B o n d a r e n k o, L. S. *O momente zameni statornih obmotoh ghidrogheneratorov*. În : Elektriceskie stanţii, nr. 6, 1971, p. 77–80.

[10] B a l t i s b e r g e r, K. şi G a m l e s o e t e r, K. *Betriebserfahrungen mit volständig wassergekühlten Schenkelpolmaschinen*. În : Brown Boveri Mitt., 58, nr. 1, 1971, p. 18–24.


(Articol intrat în redacţie la 3 iunie 1972)

# Sursă de putere reactivă cu reglaj continuu*)

Ing. S. Darie
şi ing. R. Micu**)

Necesarul de putere reactivă într-un sistem electroenergetic este aproximativ de acelaşi ordin de mărime ca necesarul de putere activă. De menţionat faptul că puterea reactivă în sistem nu este constantă, ci reprezintă variaţii periodice, zilnice şi anuale, variaţii care nu sînt identice cu cele ale puterii active. În vederea menţinerii unei valori corespunzătoare a factorului de putere, se impune cu necesitate cu sursele de energie reactivă să aibă capacitatea de a fi reglabile, de preferinţă în mod continuu.

Utilizarea surselor clasice de energie reactivă în anumite condiţii de exploatare prezintă unele inconveniente. Astfel, utilizarea compensatoarelor sincrone în cazul puterilor mici şi mijlocii este nejustificată din punct de vedere economic, iar bateriile de condensatoare cu reglare în trepte prezintă mari dificultăţi constructive şi în exploatare în cazul variaţiilor rapide şi neregulate ale consumului de energie reactivă. În aceste condiţii se pune problema realizării unei surse statice de putere reactivă cu reglaj continuu sub sarcină, care să fie economică atît din punct de vedere constructiv, cît şi funcţional, să fie sigură în exploatare şi să aibă o întreţinere uşoară.

Din posibilităţile de realizare a surselor de putere reactivă cu reglaj continuu reprezentate în figura 1 [1], se propune o nouă soluţie, realizată şi experimentată de autori; ea constă dintr-o baterie de condensatoare cuplată în paralel cu o bobină care are inductivitatea

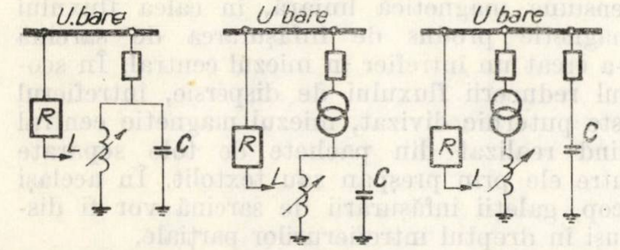



Fig. 1. Posibilităţi de obţinere a unei surse de putere reactivă cu reglaj continuu.

continuu variabilă, prin premagnetizare în curent continuu (fig. 2). Această soluţie nu a mai fost utilizată.

*) Această lucrare a fost comunicată la sesiunea ştiinţifică jubiliară a cadrelor didactice de la Institutul politehnic — Braşov, din 6—8 decembrie 1968.

**) Silviu Darie este asistent la Institutul politehnic — Cluj; Radu Micu este şef de lucrări la Institutul politehnic — Cluj.

Prin cuplarea în paralel a bateriei $C$ cu bobina $L$, instalaţia constituie o sursă de putere reactivă cu reglaj continuu, variaţia puterii reactive debitate fiind funcţie de variaţia inductivităţii $L$:

$$S_S = -j\left[\frac{U^2}{X_C} - \frac{U^2}{X_L}\right] \tag{1}$$

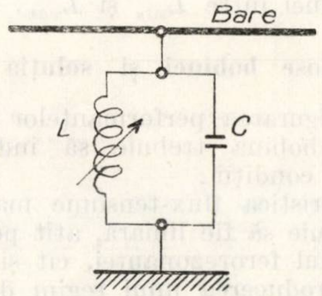



Fig. 2. Schema de principiu a instalaţiei.

adică, funcţie de variaţia puterii reactive consumate de bobină

$$S_S = -j\,[Q_C - Q_L] \tag{2}$$

Variind puterea reactorului, se obţine o valoare minimă $Q_{Lmin} \neq 0$, pentru care:

$$S_{Smax} = Q_C - Q_{Lmin} \tag{3}$$

Se poate defini gama de reglare a puterii debitate de sursă, prin coeficientul:

$$K = \frac{S_{Smax}}{S_{Smin}} \geqslant 1 \tag{4}$$

în care:

$$S_{Smin} = -j\left[\frac{U^2}{X_c} - \frac{U^2}{X_{Lmin}}\right] \tag{5}$$

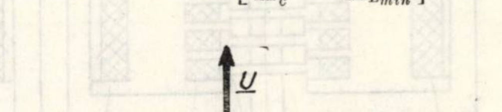



Fig. 3. Diagrama fazorială a sursei.

Plaja de variaţii a curentului debitat de sursă rezultă din diagrama fazorială a ansamblului, care s-a reprezentat în ipoteza neglijării pierderilor active (fig. 3).

Curentul $I_L$ prin bobină variind între $I_{Lmin}$ şi $I_{Lmax}$, rezultă gama de variaţii a curentului sursei între 0 şi $I_{Smax}$ (s-a impus $I_C = I_{L\ a}$).

Puterea reactivă debitată de sursă va varia între 0 și $Q_{S_{max}}$, în care :

$$Q_{S_{max}} = S_{S_{max}} = U^2 \left[ \frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_{L_{max}}} \right] \quad (6)$$

Impunînd domeniul de variație a puterii reactive, rezultă plaja de variație a inductivității bobinei între $L_{min}$ și $L_{max}$.

**Condiții impuse bobinei și soluția adoptată**

Pentru asigurarea performanțelor optime în exploatare, bobina trebuie să îndeplinească următoarele condiții :

— caracteristica flux-tensiune magnetică a bobinei trebuie să fie liniară, atît pentru a se evita pericolul ferorezonanței, cît și pentru a se evita introducerea unui regim deformant ;

— inductivitatea bobinei să fie continuu variabilă în limite destul de largi, 1 : 2 — 1 : 10, pentru a se putea asigura o plajă mare de variații a puterii reactive debitate de sursă ;

— fluxul de dispersie să fie minim ;

— pierderile active în bobină să fie minime pe întreaga gamă de variație a inductivității ;

— să existe posibilitatea reglării automate, sub sarcină, a inductivității bobinei, printr-un sistem de reglaj automat cu constantă de timp și eroare minimă.

Față de aceste cerințe, s-a ales și s-a experimentat drept soluție constructivă o bobină la care variația inductivității în limitele impuse se realizează printr-o premagnetizare în

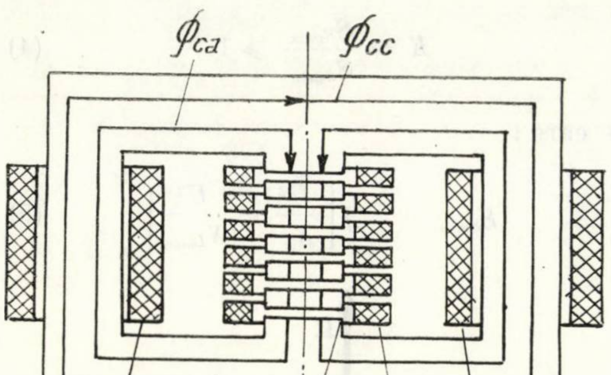



Fig. 4. Circuitul magnetic al bobinei saturabile :
1 — înfășurarea de sarcină ; 2 — înfășurarea de comandă ; 3 — miezul magnetic ; 4 — întrefier parțial.

curent continuu a unei porțiuni a circuitului magnetic. Circuitul magnetic (fig. 4) este simetric, cu înfășurarea de sarcină realizată în galeți și dispusă pe miezul central ; sistemul ales funcționează ca două inductanțe separate, care își schimbă starea de magnetizare în fiecare semiperioadă a curentului de sarcină dînd în ansamblu o funcționare simetrică [2], [3].

Înfășurarea de comandă este împărțită în două bobine repartizate pe cîte una din coloanele laterale, legăturile galvanice ale bobinei realizîndu-se ca în figura 5. Prin aceasta, în înfășurarea de comandă nu vor apărea compo-

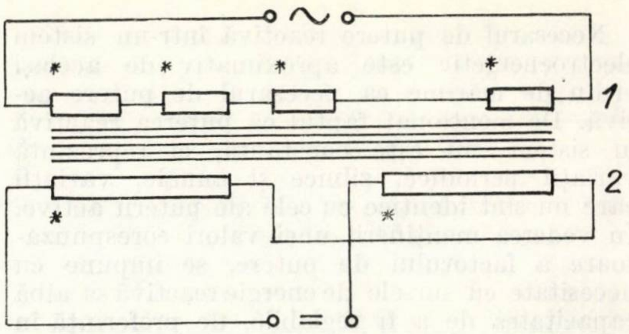



Fig. 5. Schema de conexiuni a bobinei saturabile :
1 — înfășurarea de sarcină ; 2 — înfășurarea de comandă.

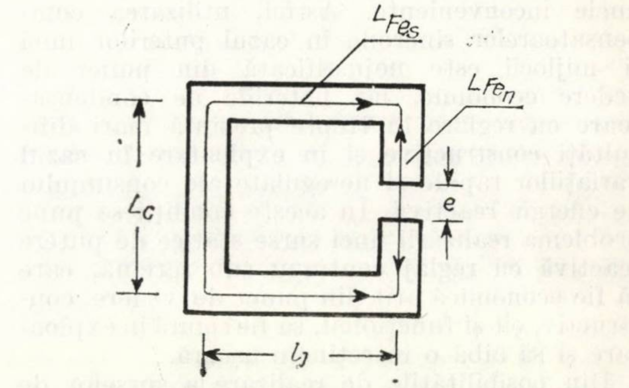



Fig. 6. Schiță de calcul al circuitului magnetic.

nentele alternative impare ale curentului din înfășurarea de sarcină [2]. Rezultă circulația fluxurilor magnetice din figura 4.

În vederea realizării unei caracteristici flux-tensiune magnetică liniară, în calea fluxului magnetic produs de înfășurarea de sarcină s-a creat un întrefier în miezul central. În scopul reducerii fluxului de dispersie, întrefierul este puternic divizat, miezul magnetic central fiind realizat din pachete de tole separate între ele prin preșpan sau textolit. În același scop, galeții înfășurării de sarcină vor fi dispuși în dreptul întrefierurilor parțiale.

Datorită faptului că bobina este simetrică atît din punct de vedere constructiv cît și din punct de vedere funcțional, relațiile matematice care descriu funcționarea circuitului magnetic se vor referi doar la jumătate din reactor (fig. 6).

**Premise de proiectare**

Reluctanța circuitului magnetic considerat este echivalentă cu trei reluctanțe inseriate : una saturabilă, a cărei permeabilitate relativă

variază cu premagnetizarea în curent continuu dată de cîmpul de comandă $H_c$, una nesaturabilă (aferentă miezului central) și reluctanța întrefierului [2], [3]. În cazul în care cîmpul de comandă este nul, reluctanța totală are valoarea minimă.

Bobina lucrează ca o admitanță cuplată la bornele unei surse de putere mare; considerînd că tensiunea la bornele bobinei se păstrează aproximativ constantă, rezultă că raportul limitelor curentului reglat prin bobină este proporțional cu raportul limitelor variației inductivității:

$$\nu = \frac{L_M}{L_m} = \frac{I_M}{I_m} \tag{7}$$

Inductivitatea maximă $L_M$, respectiv minimă $L_m$ a bobinei, se determină cu relațiile:

$$L_M = \frac{n_s^2}{\dfrac{l_{Fes}}{\mu_0\,\mu_{rs}\,S_{Fe}} + \dfrac{l_{Fen}}{\mu_0\,\mu_{rc}\,S_{Fe}} + \dfrac{e}{\mu_0\,S_a}} \tag{8}$$

$$L_m = \frac{n_s^2}{\dfrac{l_{Fes}}{\mu_0\,\mu_{rs}\,S_{Fe}} + \dfrac{l_{Fen}}{\mu_0\,\mu_{rc}\,S_{Fe}} + \dfrac{e}{\mu_0\,S_a}} \tag{9}$$

în care

$n_s$ este jumătate din numărul de spire al înfășurării de sarcină;

$\mu_0$ permeabilitatea absolută a aerului;

$\mu_{rc}$ — permeabilitatea relativă constructivă (aferentă cotului curbei de primă magnetizare);

$\mu_{rs}$ — permeabilitatea relativă saturată;

$S_{Fe}$ — secțiunea activă de fier a coloanei;

$S_a$ — secțiunea medie a fluxului în întrefier;

$l_{Fes}$ — lungimea circuitului magnetic saturat prin premagnetizare;

$l_{Fen}$ — lungimea circuitului magnetic nesaturat;

$e$ — lungimea întrefierului total.

Notînd cu $U_s$ tensiunea ce revine unei jumătăți de reactor, legea inducției electromagnetice în regim cvasistaționar aplicată jumătății de bobină este:

$$U_s = 4{,}44\; f\cdot B_{Fe}\cdot S_{Fe}\cdot n_s \tag{10}$$

Din relațiile (5) — (10) rezultă o primă relație de interdependență care caracterizează circuitul magnetic:

$$l_{Fes} = \frac{U_S\cdot \mu_0\, n_S(\nu - 1)}{4{,}44\, B_{Fe}\, f\cdot L_M\left(\dfrac{1}{\mu_{rs}} - \dfrac{1}{\mu_{rc}}\right)} \tag{11}$$

Legea circuitului magnetic aplicată bobinei pentru cele două limite de variație a curentului este:

$$\sqrt{2} n_s\cdot I_m = H_{Fes}\cdot l_{Fes} + H_{Fen}\cdot l_{Fen} + H_a\cdot e$$

$$\sqrt{2} n_s I_M = H_{Fes}\cdot l_{Fes} + H_{Fen}\cdot l_{Fen} + H_a\cdot e \tag{12}$$

Notînd cu:

$$\chi = \frac{S_a}{S_{Fe}} \tag{13}$$

secțiunea medie relativă a fluxului în întrefier (care în acest caz este de 1,1 —1,15), din relațiile (7) —(13) rezultă o a doua relație de interdependență care caracterizează circuitul magnetic:

$$e = \frac{\sqrt{2}\mu_0\,\chi n_s\,(I_m\,\mu_{rc} - I_M\,\mu_{rs})}{B_{Fe}\,(\mu_{rc} - \mu_{rs})} - \frac{\chi}{\mu_{rc}}\cdot l_{Fen} \tag{14}$$

Pentru a avea o formă constructivă corespunzătoare se impune:

$$l_c > l_j \tag{15}$$

$$e > 0 \tag{16}$$

Ținînd seama de relațiile (7)—(14), aceste două condiții devin:

$$\mu_{rs} > \frac{1}{\dfrac{1}{\mu_{rc}} + \dfrac{U_s^2\,\mu_0\,(\nu - 1)\sqrt{\pi\,K_{Fe}\cdot K_C}}{6\sqrt{4{,}44\cdot B_{Fe}\cdot f\cdot L_M\cdot\alpha\cdot\gamma^3}}} \tag{15'}$$

$$\mu_{rs} < \mu_{rc}\,\frac{\sqrt{2}\,\mu_0\,\mu_{rc}\,U_S\,I_m + \dfrac{4B_{Fe}\cdot\alpha}{\sqrt{4{,}44\pi\cdot K_c\cdot K_{Fe}\cdot f\cdot B_{Fe}}}}{\left(\sqrt{2}\,\mu_0\mu_{rc}U_{sIM} + \dfrac{U_s^2(\nu-1)\mu_0\mu_{rc}}{4{,}44\cdot f\cdot L_M}\right) + \dfrac{4\,B_{Fe}\cdot\alpha\cdot\gamma^3}{\sqrt{4{,}44\,\pi\cdot K_c\,K_{Fe}\cdot f\cdot B_{Fe}}}} \tag{16}$$

în care:

$K_c$ este coeficientul de umplere a cercului circumscris coloanei;

$K_{Fe}$ — coeficientul de umplere în fier a secțiunii coloanei;

$\gamma^2 = \dfrac{U_s}{n_s}$ — numărul de volți pe spiră, cuprins între 2 și 54 (prin asimilare cu un transformator);

$\alpha = \frac{D_{col}}{l_j}$ — raportul dintre diametrul coloanei şi lungimea jugului cuprins între 1,8 şi 2,3 (prin asimilare cu un transformator).

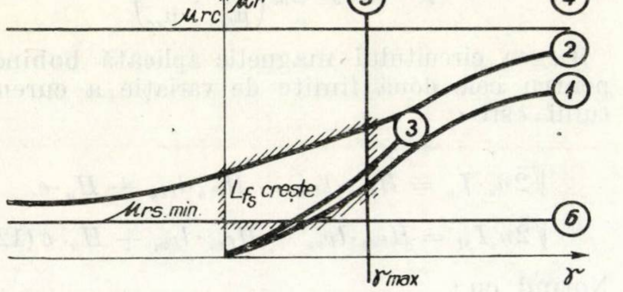



Fig. 7. Domeniul de existenţă a soluţiei de proiectare a bobinei saturabile.

O a treia condiţie de limitare este impusă de numărul de volţi pe spiră :

$$\gamma^2 < \gamma^2_{max} \quad (17)$$

A patra limitare este impusă de ineficienţa saturării circuitului magnetic sub o limită a lui $\mu_{rs_{min}}$, care pentru tole laminate la rece se află în jurul valorii de 200 :

$$\mu_{rs} > \mu_{rs_{min}} \quad (18)$$

Relaţiile de limitare se pot reprezenta grafic în planul $\mu_r - \gamma$ (fig. 7). Relaţiile (15′), (16′), (17) şi (18) sînt reprezentate respectiv prin curbele *1, 2, 6, 5*. Se observă că $\mu_{rs}$ şi $\gamma$, de care depind celelalte dimensiuni constructive ale bobinei, pot varia doar într-un domeniu restrîns (domeniul haşurat în exterior).

Alegerea unui optim constructiv din planul $\mu_r - \gamma$ necesită impunerea unor condiţii suplimentare, ca de exemplu $l_{Fes}$ să fie minimă, cost minim, greutate în cupru minimă etc. O dată alese valorile lui $\mu_{rs}$ şi $\gamma$, calculul tuturor elementelor bobinei rezultă imediat.

## Concluzii

— Soluţia prezentată este o propunere care a fost experimentată în laborator dînd rezultate bune $\left(\nu = \frac{1}{10} \text{ la } Q_{S_{max}} = 800 \text{ Var}\right)$.

— Sursa de putere reactivă prezentată satisface condiţiile impuse, avînd o reglare continuă, o comportare de element liniar, o construcţie simplă şi robustă ; dimensiunile bobinei sînt identice cu ale unui transformator trifazat de aceeaşi putere aparentă.

— Sursa prezentată pune în evidenţă performanţele şi avantajele în cazul variaţiilor bruşte şi în limite mari ale factorului de putere (cazul instalaţiilor electrotermice, în special al cuptoarelor cu arc).

— Soluţia propusă poate fi încadrată ca element de execuţie într-un sistem de reglaj automat de menţinere constantă a factorului de putere sau a tensiunii nodurilor în cazul variaţiei aleatorii a puterii active în noduri (cazul real).

— Sistemul de reglaj al inductivităţii bobinei şi performanţele obţinute constituie obiectul unei viitoare lucrări.

— În ceea ce priveşte economicitatea, se poate afirma că sursa propusă necesită o investiţie mai mare decît în cazul soluţiei clasice, cu baterii de condensatoare cu reglaj în trepte.

Trebuie însă să se ia în considerare faptul că instalaţia permite un reglaj continuu, are o durată nelimitată de funcţionare, face economie de întreruptoare, nu necesită piese de schimb, nu conţine elemente mobile şi evită supratensiunile de comutaţie, de unde rezultă avantajele care decurg dintr-o astfel de soluţie.


### Bibliografie

[1] Jukov, L. A., şi Rîjov, I. P. *O putiah razrabotki staticeskih upravliaemih istocinikov reaktivnoi mocinosti s neprerivnim regulirovaniem.* În : Energetika, i transport, nr. 5, 1967, p. 72—80.

[2] Hăngănut, M. şi Comşa, D. *Asupra unei inductanţe saturabile cu întrefier.* În : Buletinul ştiinţific al Institutului politehnic Cluj, nr. 8, 1965, p. 491—501.

[3] Sotskov, N. *Bazele calculului şi proiectării elementelor automate.* Editura tehnică, Bucureşti, 1952.


(Articol intrat în redacţie la 21 februarie 1972)

# Calculul unor parametri privind cavitaţia pompelor de alimentare

Ing. A. Nabijovici *)

**Nomogramă pentru determinarea timpului de apariţie a cavităţii pompelor de alimentare în cazul schemelor - bloc**

Fenomenul de cavitaţie a pompelor de alimentare în cazul schemelor-bloc apare ca urmare a scăderii rapide a presiunii în rezervorul de apă de alimentare, în timp ce temperatura pe conducta de aspiraţie scade mai încet. Evitarea acestui fenomen se face prin adoptarea unor măsuri corespunzătoare fiecărei situaţii. Unele măsuri se caracterizează prin aceea că nu intervin instantaneu, ci necesită un proces tranzitoriu pînă la atingerea situaţiei de regim. Dintre aceste măsuri fac parte, de exemplu :

— Prevederea de răcitoare de apă de alimentare care funcţionează numai în situaţii de declanşare. În acest caz din momentul declanşării şi pînă la stabilirea regimului de lucru nominal al răcitorului trece un timp datorită, pe de o parte, comutării circulaţiei de apă prin răcitor, printr-un joc de armături corespunzător şi, pe de altă parte, regimului dinamic al răcitorului.

— Prevederea alimentărilor cu abur de rezervă din bara de abur viu sau din bara rece (abur eşapat din CIP). Această măsură este caracterizată, de asemenea, de un timp de intrare în funcţiune datorat armăturilor şi inerţiei sistemului de reglare.

Desigur, şi în cazul altor măsuri pot apărea întîrzieri specifice măsurilor respective, cele menţionate fiind cele mai reprezentative.

Este cunoscut faptul că presiunea din degazor variază exponenţial cu timpul, ca şi presiunea de saturaţie a lichidului la intrarea în pompă. Dacă se fac referiri la figura 1, în care curba *a* reprezintă variaţia presiunii din degazor funcţie de timp în cazul unei declanşări, curba *b*, decalată în sus, reprezintă variaţia presiunii la intrarea în pompă, în aceleaşi condiţii, iar curba *c*, variaţia presiunii de saturaţie la intrarea în pompă (decalată spre dreapta cu $t_p$, timpul de parcurgere a traseului conductei de aspiraţie), se observă că există un timp $t_{cr}$, la care diferenţa dintre presiunea la intrarea în pompă şi presiunea de saturaţie în acelaşi punct este minimă, dacă presiunea în degazor ar scădea mereu. Dacă nu se ţine seama de aportul de căldură al preîncălzitoarelor de joasă presiune, valoarea acestui timp ar fi egală cu valoarea timpului în care apa ce se găsea la intrarea în conducta de aspiraţie, în momentul declanşării, ajunge la pompă.

Necesitatea cunoaşterii valorii acestui timp apare din considerentul că totdeauna această valoare trebuie să fie superioară valorii timpului necesar pentru intrarea în regim a aparatelor sau a dispozitivelor caracteristice măsurii adoptate. În figura 1, curbele *d* şi *e* reprezintă variaţia presiunii în degazor în cazul în care s-a luat măsura asigurării cu abur auxiliar la o presiune ce se stabilizează la o valoare $p_{as}$, la timpul $t_{as}$, respectiv $p'_{as}$ şi $t'_{as}$, pentru cazurile $t_{as} < t_{cr}$ şi $t'_{as} > t_{cr}$. Se observă că în cazul $t'_{as} > t_{cr}$ măsura este insuficientă. Metodele de calcul al acestui timp sînt în general laborioase, datorită multitudinii factorilor ce intervin. În lucrarea de faţă se propune o nomogramă generală de determinare a acestui timp. După Gage [1] acest timp se calculează cu relaţia :

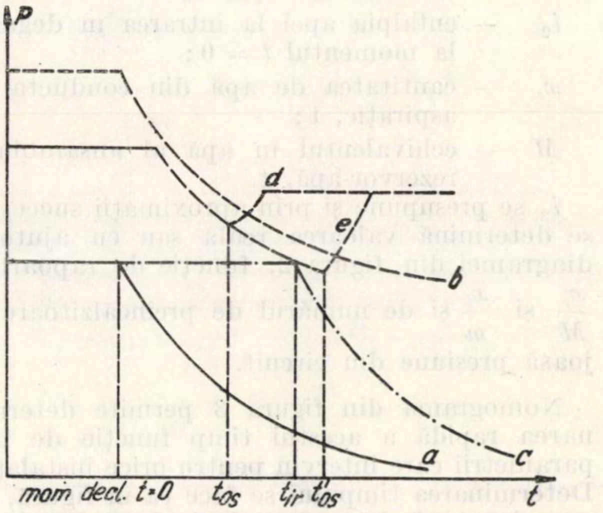



Fig. 1. Variaţia presiunii în degazor şi la aspiraţia pompei de alimentare.

$$t_{cr} = \frac{x_l \cdot 3\,600}{D} \qquad (1)$$

în care

$x_l$ este debitul de apă ce a intrat în degazor între momentul declanşării şi $t_{cr}$, t/h ;

$D$ — debitul de apă al pompei, t/h.

Valoarea lui $x_l$ rezultă din condiţia ca diferenţa spaţială de entalpie dintre ieşirea din rezervor şi intrarea în pompă să fie maximă, ceea ce se traduce în faptul că diferenţa de presiune dintre intrarea în pompă şi saturaţie să fie minimă.

După Gage valoarea lui $x_l$ în aceste condiţii este :

$$x_l = m \log_N \frac{\frac{i_1}{i_2}}{1 - e^{\frac{x_s}{M}}} \qquad (2)$$

*) Abdulah Nabijovici este inginer proiectant principal la I.C.P.E.T. — Bucureşti.

în care

$m$ este echivalentul în apă al căldurii conținute în metalul preîncălzitoarelor de joasă presiune (la temperatura apei la intrarea în PJP 1), t ;

$i_1$ — entalpia apei la intrarea în degazor la momentul $t_{cr}$ ;

$i_2$ — entalpia apei la intrarea în degazor la momentul $t = 0$ ;

$x_s$ — cantitatea de apă din conducta de aspirație, t ;

$M$ — echivalentul în apă al ansamblului rezervor-apă, t.

$i_2$ se presupune și prin aproximații succesive se determină valoarea reală sau cu ajutorul diagramei din figura 2, funcție de rapoartele $\frac{x_s}{M}$ și $\frac{x_l}{m}$ și de numărul de preîncălzitoare de joasă presiune din circuit.

Nomograma din figura 3 permite determinarea rapidă a acestui timp funcție de toți parametrii care intervin pentru orice instalație. Determinarea timpului se face ca în figură, cu aprecierea că în cadranul *4*, dacă lungimea conductei de aspirație este de 40 m, se merge în continuare pe orizontală pînă la curba respectivă pentru numărul de preîncălzitoare de joasă presiune (pct. *E*). Dacă lungimea este mai mare de 40 m, se merge din punctul *D* paralel cu dreptele δ, pînă la intersecția cu dreapta Δ, cifrele care marchează dreptele Δ reprezentînd raportul dintre lungimea conductei și lungimea de 40 m considerată. De la intersecția cu dreapta Δ (pct. *S*) se merge pe orizontală pînă la curba respectivă pentru numărul de preîncălzitoare (pct. $E_1$). În cazul în care lungimea conductei este mai mică de

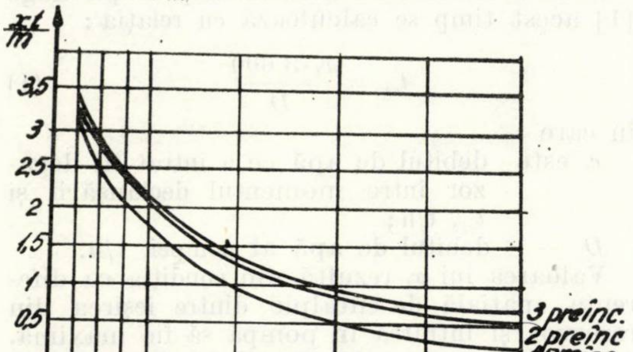



Fig. 2. Curba valorilor $x_l/m$.

40 m, din punctul *D* se merge pe orizontală pînă în punctul $S_1$, de intersecție cu dreapta Δ pentru raportul $40/l$ ($l$ fiind lungimea conductei), apoi în sens invers, paralel cu dreptele δ, pînă la o nouă intersecție cu axa verticală (pct. $D_1$). Din acest punct se merge pe orizontală pînă la intersecția cu curba respectivă pentru numărul de preîncălzitoare (pct. $E_2$) ș.a.m.d.

**Nomogramă pentru determinarea înălțimii de amplasare a rezervorului de apă de alimentare în cazul schemelor-bloc**

Înălțimea totală la care trebuie amplasat rezervorul de apă de alimentare în cazul schemelor-bloc pentru evitarea fenomenului de cavitație se calculează după Gage [1] :

$$H_{nec.} = H_1 + H_2 + H_3 \qquad (3)$$

în care

$H_1$ este înălțimea netă de înecare a pompei ;

$H_2$ — înălțimea suplimentară pentru evitarea cavitației ;

$H_3$ — înălțimea corespunzătoare pierderilor de presiune.

Relația se poate scrie :

$$H_{nec.} - H_3 = H_1 + H_2$$

$H_3$ este caracteristic fiecărui traseu datorită elementelor ce intervin pe conducte, precum și datorită traseului însuși (rezistențe locale) ; el se determină pentru fiecare caz în parte.

După Neumaier [3] $H_1$ se calculează cu relația :

$$H_1 = \left[\left(\frac{n}{100}\right)^2 \frac{V}{k \cdot S}\right]^{2/3} + \frac{u^2}{2g} \qquad (4)$$

în care

$n$ este turația pompei, rot/min ;

$V$ — debitul, $m^3/s$ ;

$k, S$ — coeficienți caracteristici pompei ;

$u$ — viteza de intrare în pompă, m/s.

După Gage [1] $H_2$ se calculează cu relația :

$$H_2 = \frac{1}{2}\,[p_{i_2} - p_{(i_2-\Delta i)}]\,[v_{i_2} - v_{(i_2-\Delta i)}] \qquad (5)$$

în care

$v_{i_2}$ este volumul specific al apei saturate la entalpia $i_2$ ;

$v_{(i_2-\Delta i)}$ — volumul specific al apei saturate la entalpia $(i_2 - \Delta i)$ ;

$\Delta i$ — valoarea maximă a diferenței de entalpie dintre ieșirea din rezervor și intrarea în pompă ;

$i_2$ — entalpia apei de alimentare din rezervor în condiții normale ;

$p_{i_2}, p_{(i_2-\Delta i)}$ — presiunile la saturație corespunzătoare celor două entalpii.

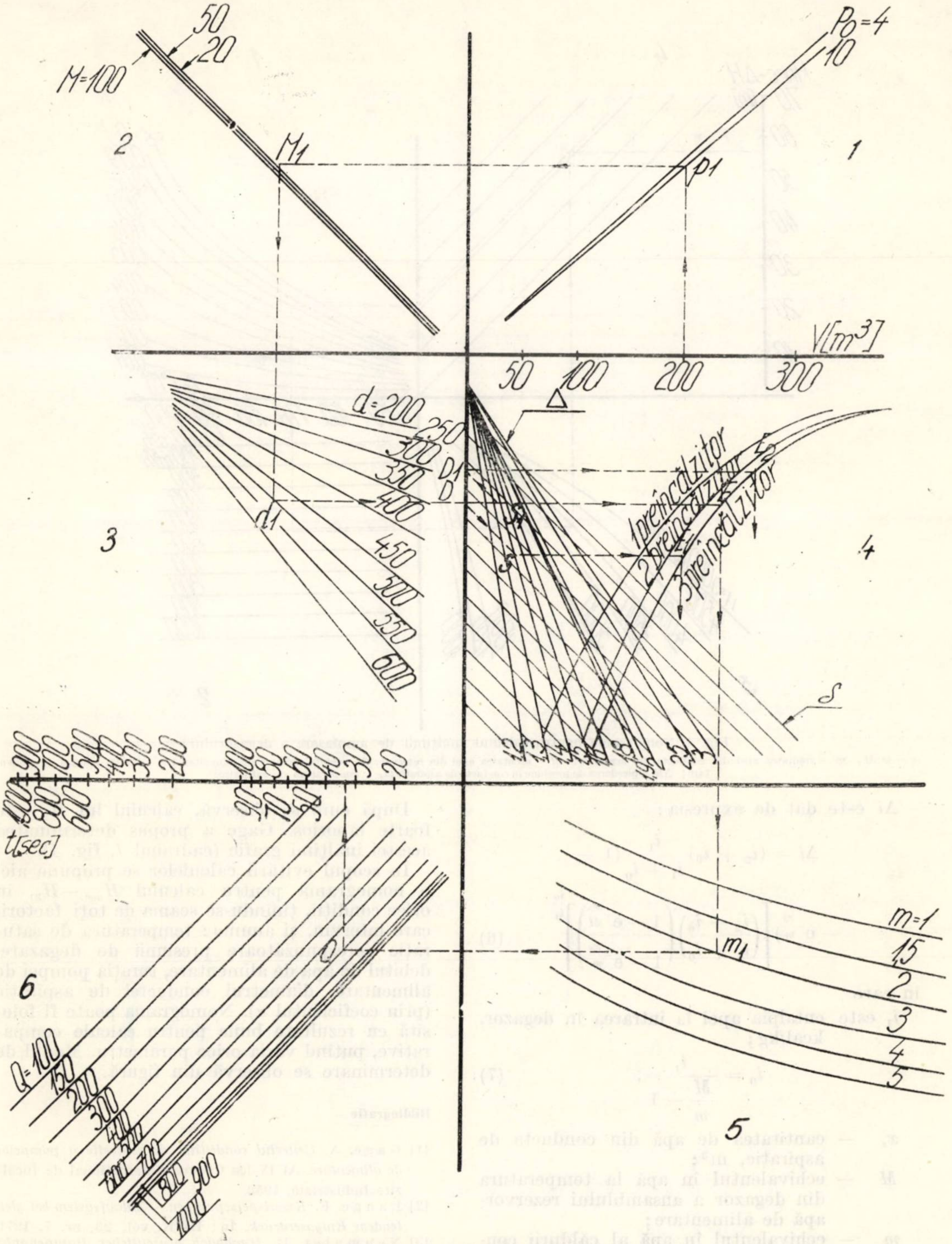



**Fig. 3. Determinarea timpului critic:**

$V$ – volumul de apă din rezervor, m³; $p_0$ – presiunea în regim normal, kgf/cm²; $d$ – diametrul conductei de aspirație a pompelor, mm; $m$ – echivalentul în apă al căldurii continue în PJP, t; $Q$ – debitul de apă al pompei, m³/h.

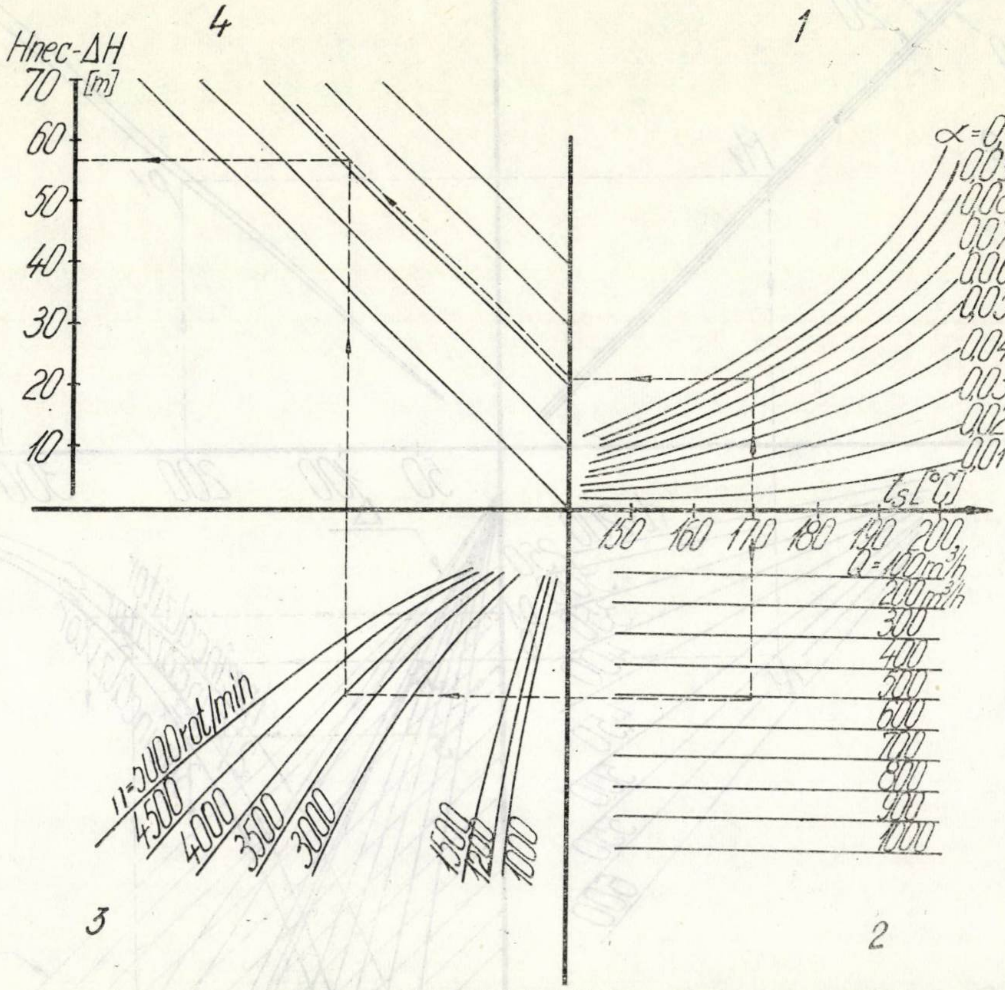



Fig. 4. Nomogramă pentru calculul înălţimii de amplasare a degazorului:
$\alpha = m/M$; $m$ – greutatea apei din conducta de aspiraţie; $M$ – greutatea apei din rezervor; $Q$ – debitul pompei de alimentare; $n$ – turaţia pompei de alimentare; $\Delta H$ – pierderea de presiune în conducta de aspiraţie; $t_s$ – temperatura de saturaţie.

$\Delta i$ este dat de expresia:

$$\Delta i = (i_2 + i_0)\frac{i_1}{i_1 + i_0}\left(1 - e^{-\frac{x_s}{m}}\right)\left[\left(\frac{i_2 + i_0}{i_1 + i_0}\right)\left(\frac{1 - e^{-\frac{x_s}{M}}}{1 - e^{-\frac{x_s}{m}}}\right)\right]^{\frac{i_0}{i_1}} \qquad (6)$$

în care

$i_1$ este entalpia apei la intrarea în degazor, kcal/kg;

$$i_0 = \frac{i_1}{\frac{M}{m} - 1}; \qquad (7)$$

$x_s$ — cantitatea de apă din conducta de aspiraţie, m³;

$M$ — echivalentul în apă la temperatura din degazor a ansamblului rezervor-apă de alimentare;

$m$ — echivalentul în apă al căldurii conţinute în metalul preîncălzitoarelor de de joasă presiune.

După cum se observă, calculul lui $H_2$ este foarte laborios. Gage a propus determinarea acestei înălţimi grafic (cadranul *1*, fig. 4).

În scopul evitării calculelor se propune aici o nomogramă pentru calculul $H_{nec.} - H_3$, în orice condiţii, ţinîndu-se seama de toţi factorii care intervin, şi anume: temperatura de saturaţie corespunzătoare presiunii de degazare, debitul de apă de alimentare, turaţia pompei de alimentare, diametrul conductei de aspiraţie (prin coeficientul α). Nomograma poate fi folosită cu rezultate bune pentru calcule comparative, putînd varia orice parametru. Modul de determinare se observă din figură.

**Bibliografie**

[1] G a g e, A. *Criteriul condiţiilor de aspiraţie a pompelor de alimentare.* Al IV-lea Congres Internaţional de Încălzire Industrială, 1952.

[2] L a n g e, F. *Kesselspeisepumpen — Zulaufsystem bei gleitendem Entgaserdruck.* În: BWK, vol. 23, nr. 7, 1971.

[3] N e u m a i e r, R. *Handbuch neuzeitlicher Pumpenanlagen.* Ed. Lederle o HG, Freiburg, 1966.

(Articol intrat în redacţie la 8 octombrie 1971

ENERGETICA peste hotare

# DATE ASUPRA CENTRALELOR TERMOELECTRICE DIN S.U.A.

Conform raportului Comisiei federale pentru energie din S.U.A. [1], principalele date statistice care caracterizează stadiul termoenergeticii S.U.A. la sfîrşitul anului 1969 şi evoluţia ei sînt cuprinse în tabelul 1.

*Tabelul 1*

| Mărimea | Unitatea de măsură | Anul 1938 | 1957 | 1967 | 1969 |
|---|---|---|---|---|---|
| Puterea instalată | MW | 26 000 | 99 500 | 210 237 | 241 350 |
| Producţia de energie | GWh/an | 68,4 | 497,2 | 974,1 | 1159,9 |
| Coeficientul de utilizare a puterii | % | 35 | 57 | 53 | 55*) |
| Numărul total de centrale electrice | | 1 165 | 1 039 | 971 | 981 |

*) Coeficientul de utilizare a puterii in talate se menţine constant în perioada 1947–1969, la valoarea medie de 55%, oscilînd anual între 53 şi 57%.

La sfîrşitul anului 1969 au fost în serviciu 163 de blocuri cu putere unitară de 300 MW şi mai mari. Cea mai mare unitate în serviciu are puterea de 1 028 MW (CTE Ravenswood).

În 1970 cea mai mare unitate în serviciu a fost de 1 130 MW (blocul 3 Paradise), iar începînd cu 1972 puterea unitară maximă atinge 1 300 MW (blocurile Cumberland 1 – 1972, Cumberland 2 – 1973 şi John Avos – 1973).

La sfîrşitul anului 1969 în S.U.A. au fost în serviciu 56 de unităţi cu presiuni supracritice.

În perioada 1952–1969 puterea sistemului a crescut cu 11 700 MW numai prin reconsiderarea „puterii instalate" a agregatelor, ca urmare a reconstrucţiilor, modernizărilor şi în special a ameliorării răcirii generatoarelor.

Pentru perioada 1970–1977 sînt contactate 209 unităţi cu 300 MW şi mai mari, dintre care 136 de blocuri au puteri peste 500 MW, totalizînd 95 900 MW. Dintre aceste blocuri nouă au puteri peste 1 000 MW.

În perioada considerată 87 de unităţi vor fi cu presiuni supracritice.

În etapa actuală centralele termoelectrice din S.U.A. se caracterizează prin folosirea unor grupuri de foarte mare putere, numărul de grupuri pe centrală fiind însă restrîns,

Puterea cea mai mare a unei centrale electrice este de 2 175 MW şi nu depăşeşte valorile întîlnite în U.R.S.S. şi în Europa de Vest.

În 1969, două centrale au avut puteri de peste 2 000 MW, şase centrale, puteri între 1 800 şi 2 000 MW şi şapte centrale, puteri între 1 559 şi 1 800 MW.

Caracteristicile de ansamblu ale centralelor termoelectrice considerate moderne din S.U.A. la sfîrşitul anului 1969 sînt următoarele. :

| | |
|---|---|
| – Număr total de centrale termoelectrice denumite moderne | 536 |
| – Puterea totală a CTE moderne | 224 347 MW |
| – Cota de putere a acestor centrale faţă de total CTE | 93 % |
| – Puterea medie a CTE moderne | 419 MW |
| – Număr total de unităţi | 1 938 |
| – Puterea medie a instalaţiilor | 116 MW |
| – Unităţi noi instalate în 1969 | 46 |
| – Puterea instalată în 1969 | 15 975 MW |
| – Puterea medie a instalaţiilor noi | 347 MW |
| – Centrale electrice noi date în exploatare | 11 |
| – Puterea centralelor termoelectrice noi | 3 298 MW |
| – Numărul de unităţi în centrale termoelectrice noi date în exploatare | 15 |
| – Puterea medie a unităţilor din CTE noi | 220 MW |
| – Producţia de energie a CTE moderne | 1 106,2 GWh |
| – Cota de producţie faţă de total | 95 % |
| – Încărcarea medie anuală | 56 % |
| – Număr total de unităţi avînd supraîncălzire intermediară | 786 |
| – Puterea totală a unităţilor cu supraîncălzire intermediară | 171 032 MW |

Consumul specific net, raportat la energia livrată, a fost în 1969 de :

| | |
|---|---|
| – pentru toate centralele electrice (valoarea medie pe ţară) | 2 635 kcal/kWh ; |
| – la întreprinderea cu cel mai mic consum specific (Tennesee Valley Authority) | 2 405 kcal/kWh |
| – la centrala cu cel mai mic consum specific (CTE Marshall cu 2 × 350MW, date în exploatare în 1965 şi 1966) | 2 210 kcal/kWh |

Unităţile cu consumul specific cel mai coborît utilizează drept combustibil cărbunele. Nici o unitate folosind combustibil gazos nu se găseşte între primele 12 grupuri avînd consumul specific cel mai redus.

Caracteristicile tehnice ale celor mai bune unităţi din punctul de vedere al consumului specific realizat în anul 1969 sînt arătate în tabelul 2.

*Tabelul 2*

| Unitatea | Combustibilul | Puterea, MW | Anul dării în funcţiune | Consumul specific net, kcal/kWh | Presiunea p, at | Temperatura iniţială, °C | Temperatura supraîncălzirii intermediare, °C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Muskingum R nr.5 | cărbune | 591 | 1968 | 2 200 | 250 | 538 | 550/538 |
| Marshall nr. 2 | cărbune | 350 | 1966 | 2 204 | 168 | 568 | 538 |
| South Oak Creek | cărbune | 310 | 1967 | 2 208 | 180 | 568 | 538 |
| Marshall nr. 1 | cărbune | 350 | 1965 | 2 214 | 168 | 568 | 538 |
| Eddystone nr. 1 | cărbune şi păcură | 354 | 1960 | 2 220 | 350 | 650 | 568/568 |
| St. Clair nr. 6 | cărbune | 353 | 1961 | 2 235 | 168 | 568 | 538 |
| Wagner nr. 3 | cărbune | 359 | 1966 | 2 239 | 250 | 538 | 538/538 |

Este de remarcat faptul că majoritatea performanţelor bune sînt obţinute de maşini încercate, din clasa de putere 350 MW şi că trecerea la presiuni supracritice nu a adus o reducere spectaculoasă a consumului specific efectiv realizat în exploatare în 1969.

Puterea de vîrf este obţinută în prezent cu ajutorul centralelor termoelectrice cu parametri moderaţi, avînd investiţii cît mai reduse, şi cu ajutorul turbinelor cu gaze.

Centralele cu abur de vîrf sau semivîrf dispun de unităţi cu puterea de 200–400 MW. La mijlocul anului 1970 se aflau în construcţie 25 de astfel de unităţi, dintre care două în clasa de putere 500–600 MW, 15 în clasa 400 MW şi opt în clasa 250–350 MW. Presiunea folosită este de 125 at, iar temperatura 510/510°C.

Evoluţia puterii instalate în turbine cu gaze este arătată în tabelul 3.

*Tabelul 3*

| Anul | 1963 | 1965 | 1967 | 1968 | 1969 |
|---|---|---|---|---|---|
| Puterea, MW | 600 | 1 320 | 3 320 | 6 120 | 9 960 |

În primele luni ale anului au fost date în exploatare turbine cu gaze cu puterea de 4 200 MW, iar în montaj, cu termene de dare în exploatare pînă în 1972, se află o putere de 5 500 MW.

Puterea turbinelor cu gaze din sistem s-a dublat practic la intervale sub doi ani.

În S.U.A. în 1969 au fost în funcţiune zece turbine cu gaze cu motoare reactive (cu cîte opt motoare) cu puteri de 125–160 MW, iar 15 unităţi de acelaşi tip s-au aflat în montaj. Dintre acestea, patru unităţi sînt instalate pe bacuri plutitoare şi sînt deplasabile.

În 1970, în S.U.A. au fost în funcţiune 16 instalaţii nuclearoelectrice cu o putere de 4 960 MW [2].

Pentru perioada 1970–1977 sînt contractate şi urmează a fi date în exploatare un număr de 93 de unităţi cu puteri unitare de peste 300 MW în 61 CNE, cu o putere totală de circa 82 000 MW [1].

Structura acestor instalaţii după filierele folosite este dată în tabelul 4.

*Tabelul 4*

| Tipul reactorului | Număr de unităţi | | Putere totală | |
|---|---|---|---|---|
| | Total | Procente | MW | Procente |
| PWR | 57 | 60,5 | 51 300 | 62,75 |
| BWR | 36 | 38,5 | 30 200 | 37,00 |
| HTGR | 1 | 1 | 300 | 0,25 |

În această perioadă puterea unitară netă atinge 1 200 MW la reactoare PWR şi 1 125 la cele BWR.

De remarcat că totalitatea puterii urmează a fi instalată în reactoare cu apă uşoară, cu uraniu îmbogăţit, cu excepţia unei unităţi experimentale de 300 MW, folosind răcirea cu He la temperatură ridicată (Fort St. Vrain).

Toate instalaţiile reactoarelor cu apă uşoară urmează a fi prevăzute cu învelişuri de protecţie.

Primul reactor cu neutroni rapizi de tip comercial va intra probabil în funcţiune după anul 1980.

Structura cheltuielilor de producţie în anul 1969 la centralele termoelectrice din S.U.A. este arătată în tabelul 5.

*Tabelul 5*

| Felul cheltuielilor | mill./kWh | Procente |
|---|---|---|
| Exploatare | 0,37 | 10,45 |
| Întreţinere | 0,39 | 11,05 |
| Subtotal | | |
| *E + I* | 0,76 | 21,5 |
| Combustibil | 2,77 | 78,5 |
| Total | 3,53 | 100 |

Aceste cheltuieli nu cuprind amortizarea şi cheltuielile legate de procurarea fondurilor de investiţii.

Datele de detaliu, pentru diferitele întreprinderi de electricitate, arată că cheltuielile de întreţinere depăşesc pe cele de exploatare.

Livrarea de energie electrică este realizată în S.U.A. prin sisteme energetice regionale sau statale, exploatate de întreprinderi de electricitate.

Caracteristicile privind producţia principalelor întreprinderi şi personalul de exploatare al centralelor termoelectrice în 1969 sînt arătate în tabelul 6.

Consumul total de combustibil convenţional în CTE a fost în anul 1969 de 529,4 milioane t.

Cantităţile fizice consumate au fost următoarele: cărbune 310,2 mil. t, gaze circa 100 miliarde m$^3$, păcură 38,8 milioane t.

În decada pînă în anul 1967, 66 % din totalul combustibilului folosit a fost cărbune, 26 % gaze naturale şi 8 % păcură.

În 1967 cotele au fost: cărbune 64 %, gaze naturale 27 % şi păcură 9 %; în anul 1969 aceste cote au continuat tendinţele anterioare de reducere a consumului de cărbune şi de creştere a cotei de păcură, fiind: cărbune 60 %, gaze 28 % şi păcură 12 %.

*Tabelul 6*

| Denumirea întreprinderii | Consumul specific mediu anual, kcal/kWh | Combustibilul | Producţia netă, GWh/an | Puterea netă instalată, MW | Număr de persoane în exploatare | Investiţii la finele anului 1969, milioane $ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| – Tennesee Valley Authority | | cărbune + gaze | 75,6 | 13,976 | 3 338 | 1 517 |
| – American Electric Power Co. | | cărbune | 54,7 | 9 422 | 2 558 | 1 157 |
| – Southern California Edison Co. | | gaze + păcură | 34,3 | 8 274 | 786 | 838 |
| – Texas Utilities Co. System | | gaze | 30,7 | 7 412 | 1 051 | 588 |
| – Houston Lighting § Power Co. | | gaze | 25,9 | 5 573 | 910 | 391 |
| – Duke Powet Co. | | cărbune | 30,6 | 4 457 | 956 | 448 |

**PROGRESELE MAJORE ÎN CENTRALELE TERMOELECTRICE CLASICE DIN S.U.A.**

Principalele idei se pot sintetiza în felul următor:

1. Mărirea puterii unitare, care a crescut de la valoarea medie de 41 MW, la cele mai mari 53 de grupuri noi, în 1948, la 362 MW, la cele mai mari 43 de grupuri noi, date în exploatare în 1969. Aceasta reprezintă principala cale de reducere a investiției specifice.

2. Mărirea presiunii aburului și folosirea de cicluri cu supraîncălzire intermediară, ceea ce micșorează consumul de combustibil și cheltuielile de producție.

3. Folosirea de construcții exterioare și semiexterioare ale echipamentului, avînd drept consecință reducerea costului de investiție.

4. Adoptarea aproape generalizată a construcției de unități monobloc, adică un singur cazan pentru o turbină. Și această măsură contribuie la micșorarea investițiilor și a costurilor anuale.

5. Folosirea unor camere centrale de comandă, pentru conducerea unui număr de la unu pînă la patru unități-bloc, și a serviciilor interne aferente combinat, cu o creștere a automatizării parțiale sau totale. Măsura se reflectă favorabil asupra costurilor anuale de exploatare și întreținere, îmbunătățind randamentul și siguranța exploatării.

6. Concepția, amplasarea și realizarea noilor unități se analizează astfel încît să corespundă optimal nevoilor unui sistem energetic modern interconectat. Aceasta reprezintă un factor esențial pentru livrarea economică și neîntreruptă de energie și continuă să fie de o importanță crescîndă.

7. Cotele mărite de putere în unități cu un singur ax, în domeniul mașinilor foarte mari, 300—800 MW, ceea ce conduce în continuare în ultimii 7 ani la economii de investiții și cheltuieli de producție.

8. Instalarea de unități auxiliare de pornire în caz de avarie în centralele termoelectrice de bază, de mare putere, folosind turbine cu gaze sau motoare diesel. Această măsură îmbunătățește independența centralelor și siguranța lor de funcționare. Unitățile mai mari cu turbine cu gaze pot servi și ca unități de vîrf.

9. Centralele nucleare se dezvoltă cu unități cu puteri unitare pînă la 1 200 MW, folosind în actuala etapă filierele reactoarelor cu apă ușoară PWR și BWR.

**Bibliografie**


[1]*** *Annual Report*. Federal Power Comission S.U.A., 1971.

[2] Müller, W. și Hoffer, R. *Jahrbuch der Atomwirtschaft*, 1971. Ed. Handelblatt, Düsseldorf, 1971.


Conf. ing. **C. Moțoiu**

# CRONICĂ

## SIMPOZIONUL INTERNAȚIONAL DE TEHNICA TENSIUNILOR ÎNALTE

**München — martie 1972**

Între 9 și 14 martie 1972 a avut loc la München o manifestare tehnico-științifică de mari proporții și de înaltă ținută și nivel în probleme de tehnica tensiunilor înalte. Această reuniune științifică a reușit să adune mai mult de 800 de participanți din 52 de țări, prezentîndu-se un număr de 99 de referate și comunicări din 18 țări.

Tematica lucrărilor acestui simpozion scoate în evidență în esență următoarele:

a) Pătrunderea tot mai accentuată a fizicii în inginerie și invers. În acest sens, menționăm că de problema fizicii străpungerii dielectricilor solizi, lichizi sau gazoși s-au ocupat 43 de referate; de producerea și măsurarea tensiunilor înalte și a intensității cîmpului electromagnetic, 37 de referate, iar de utilizarea tensiunilor înalte în cercetarea fizică, 7 referate.

Dintre problemele nou abordate pe această linie se menționează: cercetarea procesului de descărcare în dielectricii clasici — aer și ulei — precum și în dielectricii recent introduși în tehnică, $SF_6$ (hexafluorură de sulf), polietilenă, rășini sintetice etc. Se determină parametrii care influențează apariția descărcărilor parțiale, timpii caracteristici și modul de producere a diverselor faze ale descărcării. Pentru cercetarea acestor fenomene se folosește aparatură perfecționată, precum camere foto, convertoare dezvoltate în tehnica spațială, spectrometre de masă, cronometre de descărcare cu transmisia semnalului prin cablu optic (fire de sticlă) și prelucrarea acestui semnal cu circuite logice.

b) Intensificarea cercetărilor privind introducerea în instalațiile electroenergetice — barele stațiilor, întreruptoare, condensatoare speciale (condensatoare cu gaz comprimat), transformatoare de măsură, cabluri etc.) — a izolației cu hexafluorură de sulf ($SF_6$), precum și a izolației sintetice la cabluri.

c) Dezvoltarea și perfecționarea transportului energiei electrice cu cabluri subterane la tensiuni foarte înalte, 225 și 380 kV, și fabricarea în circa 10 ani a cablurilor de 730 kV.

d) Perfecționarea metodelor și mijloacelor de măsură și comandă în TTI, folosindu-se voltmetre diferențiale de înaltă tensiune, voltmetre de vîrf cu memorie, cu transmiterea semnalului prin cablu optic, divizoare speciale, presgazcondensatoare cu tensiuni mai mari de 1,5 MV, eclator multiplu de tăiere pentru tensiuni pînă la 3,5 MV cu dispersie sub 50 ns, dispozitive trigher cu laser etc.

Lista comunicărilor și referatelor anexată acestei sumare prezentări oglindește bogatul conținut al acestei prestigioase reuniuni științifice.

O contribuție deosebită la reușita lucrărilor simpozionului a avut-o prof. dr. ing. H. Prinz, directorul Institutului de tehnica tensiunilor înalte și instalații electroenergetice al Universității Tehnice din München, care a efectuat și o interesantă demonstrație experimentală în laboratorul de tensiuni înalte, împreună cu colaboratorul său dr. ing. Wiesinger. În revista ETZ-A din iunie 1972 se prezintă detalii ale acestei manifestări științifice.

Dr. ing. **I. Adămuț** și dr. ing. **B. Máthé**

## LUCRĂRI PREZENTATE LA SIMPOZIONUL INTERNAȚIONAL DE TEHNICA TENSIUNILOR ÎNALTE

**München 9—14 martie 1972**

Grupa A. **Calculul cîmpurilor electrice în construcțiile izolante**

A 1. K. Antolic (Elveția): Rezolvarea problemelor de limită cu ajutorul ecuațiilor în diferențe finite.

A 2. H. Böcker (R.F.G.): Unda electromagnetică a impulsului de tensiune înaltă.

A 3. N. Flatabö, H. Riege (Norvegia): Calculul automat al cîmpurilor electrice.

A 4. E.T.B. Gross, M. H. Hesse (S.U.A.): Considerarea securității omului sub liniile electrice de înaltă tensiune.

A 5. G. Karady, Hylten-Cavllius (Canada): Calculul ecranării contra cîmpurilor electrice cvasistaţionare.

A 6. J. Moeller, H.' Steinbigler, P. Weiss (R.F.G.) Alura intensităţii cîmpului pe electrozii de ecranare pentru tensiuni alternative ultraînalte.

A 7. K. Reichert (Elveţia): Modelarea cu ajutorul procedeului diferenţelor finite.

A 8. M. F. Scott, J. M. Mattinglay, H. M. Ryan (Marea Britanie): Asupra calculului cîmpurilor electrice. Dezvoltări mai noi şi aplicaţii practice.

A. 9. H. Singer (R.F.G.): Cîmpul electric al electrozilor policon.

A 10. T. Takuma, T. Watanabe, K. Kita (Japonia): Calculul solicitării maxime în bare colectoare izolate cu gaz.

A 11. P. Weiss (R.F.G.): Efectele intensităţii cîmpului la dielectricii binari (din două materiale).

Grupa B. **Măsurarea intensităţii cîmpului electric în construcţiile şi instalaţiile de înaltă tensiune**

B 1. J. Aubry, P. Claverie (Franţa) şi D. Cristescu (România): O contribuţie la măsurarea cîmpului electric prin sonde.

B 2. G. Baldo, M. Rea (Italia): Cîmpul electric în spaţii disruptive bară-bară cu distanţă mare între electrozi.

B 3. G. Degli Esposti, E. Elli, W. Mosca, L. Thione (Italia): Reflecţii asupra intensităţii cîmpului electric superficial maximal admisibil pe electrozii echipamentelor de înaltă tensiune .

B 4. F. Früngel, D. Ebeling (R.F.G.): Un noi procedeu pentru stabilirea apariţiei descărcării corona pe antene şi construcţii cu conductoare.

B 5. R. T. Waters, T.E.S. Rickard, W. B. Stark (Marea Britanie): Măsurarea cîmpului electric pe suprafaţa unui conductor cilindric în condiţiile fenomenului corona de frecvenţă industrială.

Grupa C. **Generarea tensiunilor înalte în laborator**

C 1. R. A. Andersson, J. Harrisson, R. D. Stine (S.U.A.): Generator de impuls din elemente constructive unitare după schema Marx cu inductivitate redusă.

C 2. S. Buchkremer (R.F.G.): Procedeu nou şi construcţii pentru producerea tensiunilor continuă şi alternativă foarte înalte, pentru încercări, cercetări şi aplicaţii industriale.

C 3. K. Feser, A. Rodewald (Elveţia): Un eclator de tăiere multiplu (trigher) pentru tensiune de impuls de comutaţie şi convenţională.

C 4. R. Finsterwalder, P. Zacke, A. Fischer, H. Böcker (R.F.G.): Eclatoare cu simetrie ciclică pentru tăiere trigherizată a tensiunilor de impuls înalte.

C 5. F. Früngel, D. Ebeling (R.F.G.): Asupra tehnologiei producerii tensiunii de impuls cu transformatoare de impuls diferenţiale.

C 6. B. I. Gururaj (India): Alegerea parametrilor circuitului pentru generatoarele de curent de impuls cu timp lung la încercarea descărcătoarelor.

C 7. F. Heilbronner, E. U. Landers (R.F.G.): Calculul proceselor electrice tranzitorii şi staţionare în cascadele de încercare.

C 8. A. Kölb, F. Graham, R. Wootton (S.U.A.): Întreruptor final de tensiune înaltă pentru circuitele de descărcare rapide cu generatoare de impuls Marx.

C 9. J. Moeller (R.F.G.): Scheme de protecţie la transformatoarele de încercare.

C 10. W. Müller (R.F.G.): Calculul numeric al repartiţiei tensiunii în timp şi spaţiu în înfăşurările transformatoarelor la procese de impuls.

C 11. H. M. Pflanz (S.U.A.): Producerea tensiunilor înalte la conectarea circuitelor capacitive.

C 12. F. Raupach (R.F.G.): Producerea tensiunilor de frecvenţă industrială foarte înaltă cu ajutorul dispoziţiei în cascadă din transformatoare separate identice, interşanjabile.

C 13. A. Rhodewald (Elveţia): Un nou principiu al unui eclator multiplu trigherizabil pentru toate formele de tensiuni.

Grupa D. **Măsurarea tensiunilor înalte mai mari de 1 MV**

D 1. R. Arrighi, B. Beaumont (Franţa): Metode de măsură fără potenţiale în laboratorul de înaltă tensiune Fontenay.

D 2. P. Blasius, K. H. Schneider, O. Vogel, K. H. Weck (R.F.G.): Influenţa circuitelor de impuls desfăşurate spaţial asupra formei undei tensiunilor de impuls ale trăsnetului.

D 3. K. Feser, A. Rhodewald (Elveţia): Caracteristicile de transmitere ale divizoarelor de tensiune capacitive amortizate peste 1 MV.

D 4. J. Freitag (R.F.G.): Un condensator cu gaz sub presiune cu electrozi intermediari pentru măsurarea tensiunilor de frecvenţă industrială înalte.

D 5. F. G. Heymann (Africa de Sud): Propagarea undelor electromagnetice pe o linie de 400 kV.

D 6. R. Krawczynski (Polonia): Etalonarea circuitelor de măsură a tensiunilor de impuls în interiorul construcţiilor de încercare la înaltă tensiune.

D 7. A. B. Richardson, H. M. Ryan (Marea Britanie): Analiza cu calculatorul a unui circuit de măsură a tensiunii de impuls.

D 8. A. J. Scheab, J. H. W. Pagel (R.F.G.): Divizor de tensiune de precizie capacitiv pentru tensiuni înalte.

Grupa E. **Fizica străpungerii aerului la spaţii disruptive mari**

E 1. A. Aked, I. W. Mc Allister (Marea Britanie): Influenţa spatelui tensiunii de impuls asupra proceselor de predescărcare în eclatoare tijă-placă pozitive cu spaţiu disruptiv mare.

E 2. H. Böcker, A. Fischer (R.F.G.): Strimeri şi lideri în spaţii disruptive lungi la tensiuni de impuls.

E 3. A. H. Cookson, O. Farish (S.U.A.): Străpungerea spaţiilor disruptive fir-placă, disc-placă şi tijă-placă în aer.

E 4. I. Gallimberti, C. A. Stassinopoulus (Italia): Dezvoltarea descărcărilor pozitive în aer la presiune atmosferică.

E 5. J. K. Hepwarth, R. C. Klewe, B. A. Tozer (Marea Britanie): O reprezentare prin model a repartiţiei tensiunii de impuls în construcţii izolante cu cîmp electric divergent.

E 6. B. Jones, H. W. Whittington (Marea Britanie): Influenţa desfăşurării în timp a unei tensiuni de impuls de încercare asupra străpungerii spaţiilor disruptive mari în aer.

E 7. G. Krasser (Elveţia): Conturnări în aer pe izolatoare de trecere în aer şi stăpînirea lor prin dirijarea potenţialului.

E 8. H. Lennertz (R.F.G.): Cercetări la conectarea în serie a dispoziţiei electrozilor neomogeni cu tensiuni de impuls.

E 9. V. I. Levitov, E. M. Bazelian, I. G. Pulavskaia, O. V. Volkova (U.R.S.S.): Particularităţile dezvoltării descărcării în spaţii disruptive mari la tensiuni negative.

E 10. W. Mosch, E. Lemke, I. Fahd (R.D.G.): Asupra străpungerii spaţiilor disruptive în aer la solicitarea cu tensiuni suprapuse.

E 11. G. Newi (R.F.G.): Dispersia tensiunii de străpungere a eclatoarelor sferă în aer la tensiuni de impuls negative.

E 12. H. Ryzko, I. Selin (Suedia): Scîntei lungi în aer la tensiuni de impuls de diferiţi timpi ai frunţii undei.

Grupa F. **Străpungerea în gaze izolante la tensiuni înalte**

F 1. H. M. Banford, D. J. Tedford (Marea Britanie): Fenomene de predescărcare în azot şi aer la valori înalte ale lui „pd".

F 2. A. H. Cookson, O. Farish (S.U.A.): Străpungerea iniţială cu particule între electrozi coaxiali în $SF_6$ comprimat.

F 3. R. Fieux, B. Hutzler (Franţa): Influenţa conductibilităţii aerului asupra tensiunii de amorsare a fenomenului corona şi de străpungere a unui eclator tijă-placă.

F 4. B. Gänger (Elveţia): Rigiditatea dielectrică a aerului la tensiuni de impuls şi de frecvenţă industrială înaltă şi presiuni pînă la 100 at.
F 5. P. Haase (R.F.G.): Dezvoltarea străpungerii electrice în cîmp omogen în $SF_6$.
F 6. W. Mosch, W. Heuschild (R.D.G.): O condiţie pentru străpungerea $SF_6$ în cîmp neomogen slab.
F 7. G. Oppermann (R.F.G.): Curba Paschen şi valabilitatea legii lui Paschen pentru $SF_6$.
F 8. T. Takuma, T. Watanabe, K. Kita, Y. Aoshima (Japonia): Desfăşurarea descărcării în eclatoarele cu distanţe disruptive mari în $SF_6$.
F 9. T. H. Teich, B. Sangi (Marea Britanie): Parametrii descărcării unor gaze electronegative şi emisia de radiaţie de lavine de electroni.

Grupa G. **Străpungerea în materiale izolante solide la tensiuni înalte**

G 1. I.M.S. Bradan, O.M.B. El-Assi, S. Riazi, B. Salvage (Marea Britanie): Descărcări interne în izolaţia de hîrtie la tensiuni continue.
G 2. A. A. Hossem, A. J. Pearmain, B. Salvage (Marea Britanie): Descărcări interne în materiale izolante solide la tensiuni continue. Procese la temperaturi joase.
G 3. E. Kindij (R.F.G.) Anizotropia străpungerii electrice în materialele izolante.
G 4. M. Ieda, G. Sawa, K. Migairi (Japonia): Distrugerea prin tensiune a straturilor subţiri de polietilen la temperaturi foarte joase.
G 5. W. Mosch, J. Pilling, B. Tschacher, K. Eckholz (R.D.G): Timpul de scurgere prin canal şi timpul de străpungere pentru aprecierea comportării în timp a materialelor izolante solide.
G 6. M. Nawota, K. Kawamura, M. Ieda (Japonia): Dependenţa de temperatură şi tensiune a străpungerii prin canal şi predescărcare în materialele izolante artificiale.
G 7. Y. N. Rao (India): Procesele de străpungere în izolaţia folie sub influenţa descărcărilor corona la tensiune alternativă.
G 8. Y. N. Rao, C. N. Reddy (India): Asupra mecanismului de străpungere laterală (conexă) în izolanţi sintetici la solicitare cu tensiune continuă.
G 9. D. M. Ryder, J. M. Wood, W. K. Hogg (Marea Britanie): Încercări de descărcări parţiale pe eşantioane mici din izolaţie răşină-mică ale barelor statoarelor de generator.
G 10. J. Schirr (R.F.G.): Influenţa tensiunilor mecanice asupra formării canalelor de predescărcări în răşinile epoxi.
G 11. W. Schuppe (R.F.G.): Asupra problematicii măsurătorilor străpungerii în folii din materiale sintetice.

Grupa H. **Străpungerea în materiale izolante lichide şi mixte la tensiuni înalte**

H 1. R. Balakrishna, G.R.G. Raju (India): Cercetări ale figurilor Lichtenberg în uleiul de transformatoare la tensiuni de impuls.
H 2. M. Beyer, R. Bitsch (R.F.G.): Influenţa descărcării electrice în abur şi gaze diferite asupra rigidităţii dielectrice a uleiului izolant în cîmp neomogen la tensiune alternativă.
H 3. E. Nemeth (Ungaria): Polarizaţia cu constante de timpi mari în izolanţi. Găsirea repartiţiei constantelor de timp din măsurarea curentului de absorbţie.
H 4. R. J. Penneck, J. C. Swinmurn (Marea Britanie): Polimeri pentru utilizarea la tensiune înaltă în atmosferă poluată.
H 5. A. Rumeli (Turcia): Predezvoltarea descărcării pe suprafeţe izolante poluate.
H 6. A. Rumeli (Turcia): Împiedicarea predezvoltării descărcării pe suprafeţe izolante poluate.
H 7. J. Sletbak, A. Rein, S. Haraldsen (Norvegia): Tensiunea de străpungere a uleiului de transformator sub tensiune alternativă cu suprapunere de tensiune de impuls.
H 8. A. Veverka (Cehoslovacia): Măsurarea descărcărilor parţiale în transformatoarele de înaltă tensiune la tensiune indusă.
H 9. A. E. Vlastos (Suedia): Predescărcări pe suprafeţe izolante.
H 10. W. Widmann (R.F.G.): Rigiditatea dielectrică la tensiunea de impuls a dispozitivelor alunecătoare în uleiul de transformator.

Grupa I. **Transportul subteran al energiilor mari**

I 1. L. Causse, A. Lacoste (Franţa): Perspectivele dezvoltării transmisiei de energie cu porţiuni de cabluri subterane.
I 2. A. Eidinger, C. D. Flossel (Elveţia): Transmisia de energie prin cabluri de ţeavă de gaz. O comparare cu mijloacele de transport convenţionale.
I 3. A. Nabholz, D. Schlicht (Elveţia), K. Oelenheinz, E. Kuhn (R.F.G.): Posibilităţi de utilizare a conductoarelor izolate cu $SF_6$ pentru transportul la tensiune înaltă.
I 4. E. F. Peschke (R.F.G.): Transportul puterilor înalte cu cabluri.
I 5. W. Rasquin (R.F.G.): Rigiditatea dielectrică de scurtă durată a cablurilor de înaltă tensiune, în funcţie de dimensiunile secţiunii.
I 6. L. E. Roemer, S. R. Robinson, D. C. Thorn (S.U.A.): Încercări nedistructive pentru cablurile de energie.
I 7. E. Scheffler (R.F.G.): Mantaua ondulată sudată ca element de construcţie pentru cabluri de energie de tip nou.

Grupa K. **Întrebuinţarea tensiunilor înalte în cercetarea fizică**

K 1. R. A. Burden, E. T. James (Marea Britanie): Cercetări asupra străpungerii pretimpurii şi eroziunea electrozilor într-un interval de rupere cu curent intens.
K 2. P. Dokopoulos, M. Lochter (R.F.G.): Întreruptor cu izolaţie solidă în tehnica plasmei.
K 3. P. Dokopoulos, W. Steudle (R.F.G.): Asupra întrebuinţării apei pentru izolarea instalaţiilor de impuls de tensiuni înalte.
K 4. F. Gasparini, B. Macchiaroli (Italia): Sonde de descărcări prin efluvii pentru identificarea bulelor de aer în reactoare cu pat fluidizat.
K 5. H. van der Piepen, W. Schroeder (Africa de Sud): Cercetări spectroscopice desfăşurate în spaţiu şi timp pe o descărcare în scînteie, dirijată de o duză în argon.
K 6. M. Pillsticker (R.F.G.): Aprinderea intervalelor distructive de tensiune înaltă cu lumină laser.
K 7. G. Reinhold (Elveţia): Accelerator de electroni pentru microscopia de înaltă tensiune.

**Referate de sinteză**

1. L. Csuros (Marea Britanie): Influenţa electromagnetică prin fenomenul de înaltă tensiune.
2. E. Nasser (S.U.A.): Conturnarea în condiţii de contaminare a izolatoarelor de exterior.
3. A. Csernatony Hoffer (Ungaria): Încercări nedistructive ale izolanţilor la tensiune înaltă.

# Informații tehnice

**Efectele incendiului produs de uleiul de turbină la CNE Mühleberg (2–150 MWe)**

Amănuntele asupra incendiului care a avut loc în sala mașinilor la CNE Mühleberg (Elveția) pun în evidență următoarele:

Cauza incendiului: Slăbirea unui șurub de la o flașă în conducta de ulei a sistemului hidraulic de reglare la ventilele de admisie în turbina nr. 2. Jetul liber de ulei a produs în mai puțin de un minut incendiul. Focul a început la acoperiș și s-a extins în interiorul sălii mașinilor. El a putut să fie stins după trei ore. În timpul stingerii incendiului, reactorul a fost decuplat de sala mașinilor și a fost oprit fără probleme deosebite. După închiderea ventilelor de izolare a anvelopei reactorului, reactivitatea în sala mașinilor a scăzut repede și a permis desfășurarea acțiunii de stingere.

Incendiul a produs pagube la:

— acoperiș, fereastră, pereți, iluminat, canale de ventilație;

— conducte și aparate de măsură;

— cabluri electrice și unele motoare.

Datorită vaporilor de clor rezultați din arderea izolației cablurilor s-au corodat majoritatea instalațiilor electrice și electronice, ca și conductele din sala mașinilor.

Paguba totală (un grup de 150 MW) a fost de 20 milioane DM. Curățirea sălii mașinilor și restaurarea construcțiilor a durat 2 1/2 luni, iar pentru refacerea instalațiilor mecanice și electrice au fost necesare 3 luni. În aprilie-mai 1972, instalația a reintrat în funcțiune. Pentru evitarea de incendii în viitor, s-au luat următoarele măsuri în plus:

— pereți despărțitori în canalele de cabluri;

— un număr mărit de detectoare de fum;

— folosirea de materiale rezistente la foc.

Pentru centrala nucleară Würgassen din R.F. a Germaniei, AEG-Telefunken au executat o instalație pentru producția de energie electrică în caz de pericol, compusă din patru grupuri diesel, fiecare de 2275 kVA, 1820 kW, adică în total 9100 kVA, 7280 kW. Aceste grupuri se cuplează în paralel prin sincronizare la turație mare și pot da energia electrică la întreaga capacitate după 13 s de la punerea în funcțiune.

*(Atom und Strom, nr. 11–12, 1971, p. 201)*

După datele Organizației Internaționale de Energie Atomică (IAEO), la sfîrșitul anului 1971 în 15 țări erau în funcțiune 127 centrale nucleare, cu un total de 35 340 MW.

Tot IAEO consideră că puterea centralelor nucleare se va dezvolta astfel:

| | | |
|---|---|---|
| finele 1972 | : | 56 000 MW |
| finele 1973 | : | 77 600 MW |
| finele 7974 | : | 99 800 MW |
| finele 1975 | : | 123 100 MW |
| finele 1976 | : | 154 800 MW |
| finele 1977 | : | 173 000 MW |

în 319 unități din 27 de țări.

În aceste 319 unități situația va fi:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 122 | unități cu | 94 700 MW | în | S.U.A. |
| 44 | unități cu | 14 300 MW | în | Anglia |
| 31 | unități cu | 10 400 MW | în | U.R.S.S. |
| 26 | unități cu | 15 200 MW | în | Japonia |
| 19 | unități cu | 8 100 MW | în | R.F.G. |
| 9 | unități cu | 5 300 MW | în | Suedia |

În 1971 repartiția centralelor nucleare după furnizori în S.U.A. a fost:

| | | |
|---|---|---|
| General Electric | 37 200 MW | 34,6 % |
| Westinghouse | 42 902 MW | 40,0 % |
| Babcock-Wilcox | 13 769 MW | 12,8 % |
| Combustion Engineering | 11 196 MW | 10,4 % |
| Gulf General Atomic | 2320 MW | 2,2 % |

*(BWK, nr. 2, 1972, p. 82)*

Institutul suedez de energie atomică arată că, după probele efectuate, recipientul de presiune pentru reactoare, executat din beton pretensionat, s-a comportat bine. Probele s-au făcut cu un astfel de recipient de 7 m înălțime și 4,5 m diametru la 300°C și 215 at.

*(Elektrizitätswirtschaft, nr. 3, 1972, p. 80)*

La inițiativa Comisariatului pentru Energie atomică (CEA), grupuri industriale din principalele țări europene au acceptat să se unească pentru a studia condițiile economice pentru construirea în Europa a unei uzine pentru îmbogățirea uraniului utilizînd tehnica difuziunii gazoase.

*(Le Journal de l'Equipement Electrique et Electronique, nr. 322, 1972, p. 82)*

La Marcoule (Franța) este în curs de instalare reactorul PHENIX cu neutroni rapizi răciți cu sodiu de 250 MW. Reactorul este de tipul integrat, ansamblul combustibilului și circuitului primar este introdus într-o cuvă cu diametrul de 11,5 m conținînd 815 t sodiu lichid. După reactoarele experimentale „Rapsodie", „Masurca" și „Harm onie", reactorul PHENIX reprezintă o etapă importantă pentru construirea centralei nucleare de 1 000 MW prevăzută a fi începută în 1974.

*(Le Monde, 18 aprilie 1972)*

Producția de energie electrică a Franței a crescut de la 7 TWh în 1946 la 70,7 TWh în 1971. De la 74 termocentrale cu 2750 MW în 1946, în 1971 s-a ajuns la 16 860 MW, construindu-se 38 noi termocentrale cu puteri de peste 1 000 MW.

*(Neue Zürcher Zeitung, 19 aprilie 1972)*

Consumul mondial total de energie estimat pentru anul 2 000

| Total energie | *Estimație minimă* Unități | 1970–100 |
|---|---|---|
| Combustibil lichid | 30,9 mil.t | 263 |
| Energie electrică primară | 80 000 GWh | 295 |
| Gaze naturale | 3 miliarde m³ | |
| Nucleară | 25 000 Tcal | |
| Cărbuni, lemne, deșeuri | 7 000 Tcal | |

*Estimație maximă*

| Unități | 1970–100 |
|---|---|
| 37,3 mil. t | 318 |
| 100 000 GWh | 369 |
| 4 miliarde m³ | |
| 35 000 Tcal | |
| 10 000 Tcal | |

*(Neue Zürcher Zeitung, 19 aprilie 1972)*

*Zăcăminte de uraniu în Australia.* În afară de zăcămîntul de $U_3O_8$ de la Nabarlek, estimat în ultimul timp la 9 000 t s-au găsit alte două zăcăminte de oxid de uraniu la cîteva zeci de km de Nabarlek.

În Nigeria a intrat în funcțiune instalația de tratare a minereurilor uranifere de la Arlit. Instalația are o capacitate de 350 000 t minereu/an.

*Situația centralelor nucleare în S.U.A.* În primele trei trimestre ale lui 1971 s-a hotărît în S.U.A. proiectarea a circa 24 de grupuri electronucleare, care vor fi instalate în 14 centrale nucleare și vor avea o putere totală de 24 560 MW.

La 30 septembrie 1971 situația în S.U.A. era:

22 de grupuri electronucleare în serviciu cu 9 132 MWe

55 de grupuri electronucleare în construcție cu 46 605 MWe

49 de grupuri electronucleare comandate cu 48 524 MWe

Total 126 grupuri electronucleare 104 000 MWe

*(L'Elettrotecnica, nr. 2, 1972, p. 142–143)*



SZAKKÖNYVTÁR ... KÖZPONT (library stamp)

# IRE PITEŞTI

*Proiectează, construieşte, întreţine şi exploatează prin unităţile sale instalaţiile electrice pentru transportul şi distribuţia energiei electrice în zonă :*

**staţii şi posturi de transformare ;**
**linii de transport şi distribuţie a energiei electrice ;**
**instalaţii electrice interioare atît pentru unităţile socialiste cît şi pentru particulari.**

— *Adresaţi-vă cu încredere serviciilor întreprinderii, care vă stau la dispoziţie pentru rezolvarea tuturor problemelor privind alimentarea cu energie electrică.*

**ÎNTREPRINDEREA DE REŢELE ELECTRICE - PITEŞTI**

*Str. Republicii nr. 148*

# I.R.E ORADEA

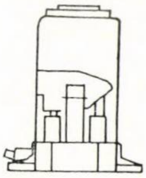
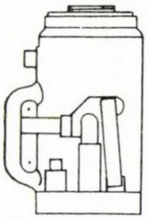
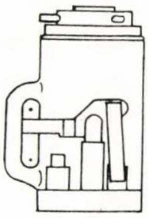
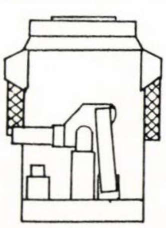
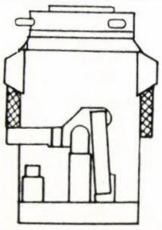
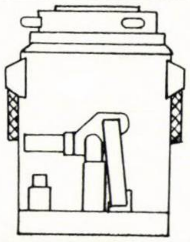
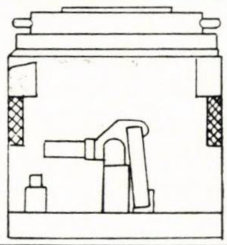
Str. Griviței nr. 32

întreprinderea de rețele electrice

- TRANSPORTĂ SI DISTRIBUIE: energie electrică în rețelele electrice de înaltă, medie şi joasă tensiune.
- PROIECTEAZĂ:
  . posturi şi stații de transformare
  . linii electrice aeriene şi subterane de transport şi distribuție
  . instalații de iluminat.
- CONSTRUIESTE:
  . linii electrice aeriene şi subterane
  . linii electrice de medie tensiune şi posturi de transformare pentru electrificări rurale
- EXECUTĂ: instalații electrice interioare şi branşamente atît pentru unitățile socialiste cît şi pentru particulari.

**o nouă gamă de cricuri hidraulice:**

# cricuri hidraulice «ATLAS»

| VEDERE DE ANSAMBLU | Capacitatea de ridicare t.f. | TIPUL | CONSTRUCTIA | Inălţimea minimă mm | Masa kg |
|---|---|---|---|---|---|
|  | 12 | AS 12/160 | Fără piuliţă de blocare | 235 | 15 |
|   | 20 | AS 20/160 ASP 20/160 | Fără piuliţă de blocare | 292 | 22,5 |
| | | | Cu piuliţă de blocare | 300 | 24,4 |
|   | 30 | AS 30/160 ASP 30/160 | Fără piuliţă de blocare | 293 | 33 |
| | | | Cu piuliţă de blocare | 808 | 35 |
|  | 50 | ASP 50/160 | Cu piuliţă de blocare | 326 | 52 |
|  | 100 | ASP100/160 | Cu piuliţă de blocare | 333 | 115 |

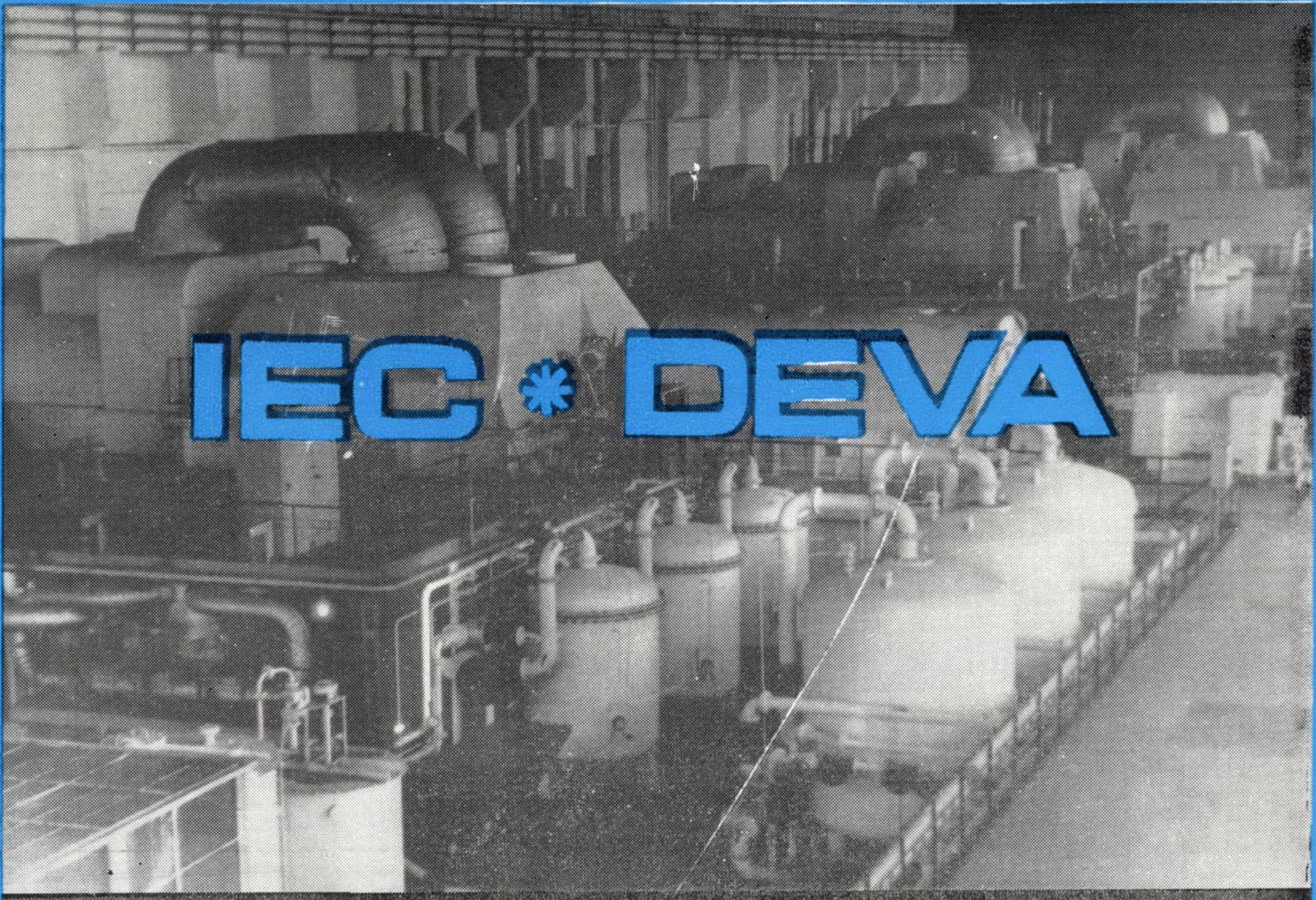
Destinate operaţiilor de ridicare, coborîre şi deplasare a sarcinilor grele pe distanţa de 160 mm, cricurile Atlas se remarcă prin greutatea, gabaritul şi presiunea pe sol reduse şi printr-o manevrabilitate uşoară.

PROMETEU

**I.I.S. ENERGOREPARAŢII**

**BUCUREŞTI, SECTORUL 5, BD. MĂRĂŞEŞTI, Nr. 7, TEL. 23.26.40**

# IEC * DEVA



Centrala termoelectrică-Deva, din cadrul IEC Deva, are o putere instalată de 840 MW şi este înzestrată cu instalaţii şi utilaje de nivel tehnic ridicat, a căror funcţionare optimă este asigurată printr-un înalt grad de automatizare şi control.

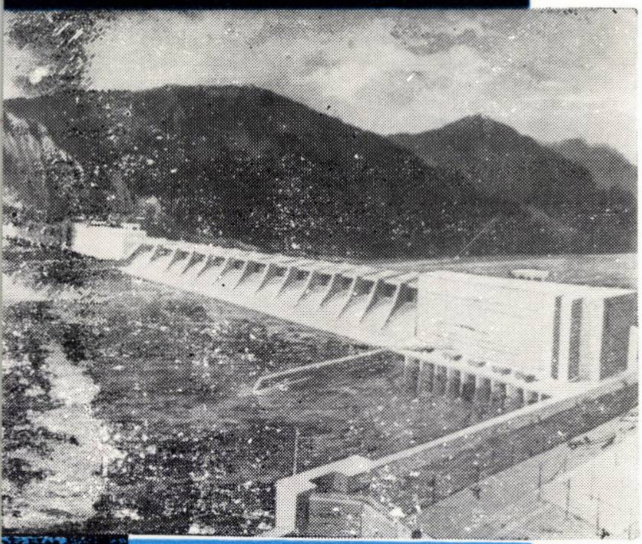
CTE Deva asigură producerea şi furnizarea energiei electrice consumatorilor în condiţii de siguranţă şi calitate.

Cenuşa de termocentrală, rezultată ca produs secundar, are o largă utilizare în diferite alte industrii.

ÎNTREPRINDEREA ELECTROCENTRALE DEVA

Mintia - căsuţa poştală 7-5 jud. Hunedoara

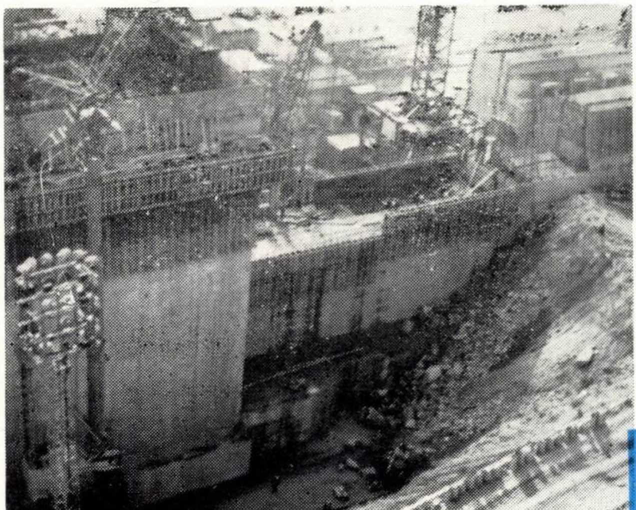
ICH
bucurești



INTREPRINDEREA DE CONSTRUCȚII
HIDROENERGETICE - BUCUREȘTI

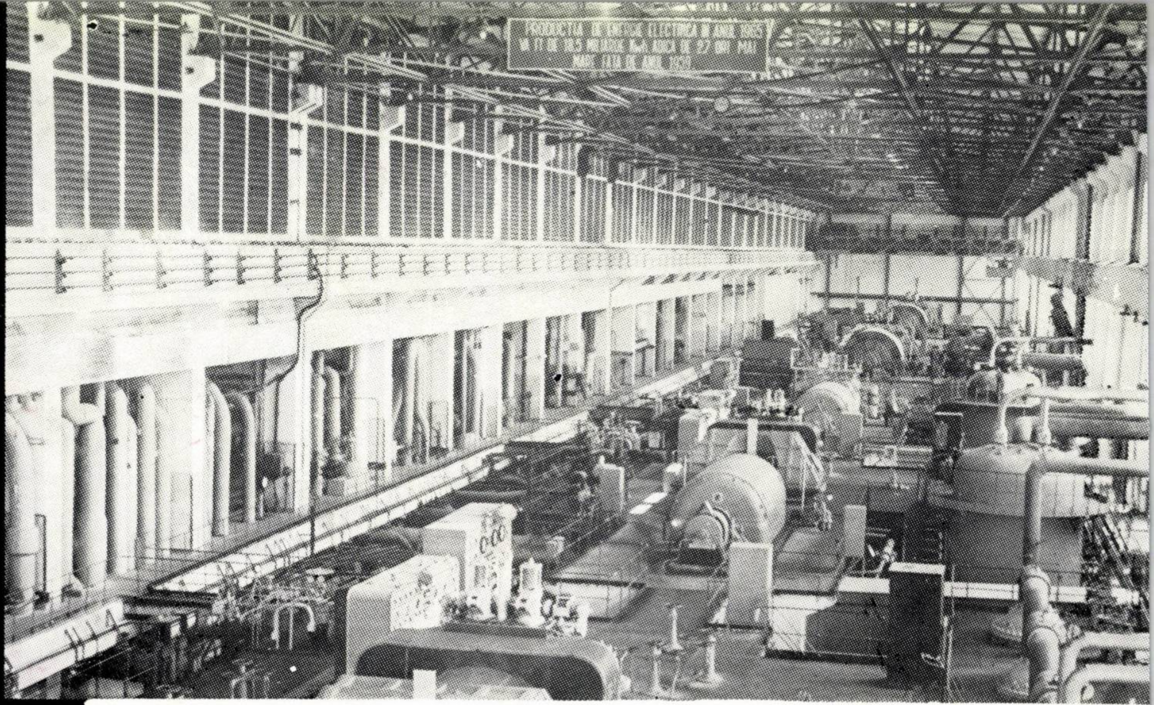
EXECUTĂ :

. Baraje de toate genurile
. Centrale hidroelectrice subterane și de suprafață
. Castele de echilibru
. Ecluze
. Tuneluri și galerii hidrotehnice
. Canale și diguri
. Amenajări pentru alimentarea cu apă a marilor industrii
. Complexe pentru producerea agregatelor de betoane.



I. C. H. - BUCUREȘTI
Str. Dimitrie Onciul nr. 23-25
Telefon : 35. 54. 70
Telex : INCOHIDROEN 011 - 2:4
București 3

# IEC BORZEȘTI



Întreprinderea Electrocentrale Borzeşti furnizează energie electrică sistemului energetic naţional, prin centralele sale Borzeşti şi Iaşi, care au o putere totală instalată de 705 MW.

- Prin CET Borzeşti asigură alimentarea cu energie electrică şi căldură a platformei industriale Borzeşti şi a oraşului Gh. Gheorghiu-Dej.

- Prin CET Iaşi asigură alimentarea cu energie electrică şi căldură a consumatorilor industriali şi casnici din zona oraşului Iaşi.

ÎNTREPRINDEREA ELECTROCENTRALE BORZESTI

ORAȘUL GH. GHEORGHIU-DEJ, JUD. BACĂU

# 10 ANI DE ACTIVITATE 1962 - 1972

# I.P.R.S. Băneasa

Str. EROU IANCU NICOLAIE Nr. 32
BUCUREŞTI II — ROMÂNIA
TELEFON 33.38.30 TELEX 011.203
SERV. DESFACERE: 33.53.22 — 33.53.17

## COMPONENTE PASIVE

**REZISTOARE**

— cu peliculă de carbon
— bobinate

**TERMISTOARE CERAMICE**

— cu coeficient de temperatură negativ

**CONDENSATOARE**

— polistiren (tip STYROFLEX)*
— poliester metalizat (tip MYLAR)**
— hîrtie metalizată
— hîrtie şi ceară
— hîrtie şi ulei
— pentru echipament auto
— pentru antiparazitare
— electrolitice normale
— electrolitice miniatură
— ceramice de tip I
— ceramice de tip II

**CABLAJE IMPRIMATE**

— simplu faţă
— dublu faţă

## COMPONENTE ACTIVE CU Ge

**TRANZISTOARE**

— de joasă frecvenţă
de mică putere
de medie putere
de putere
— de înaltă frecvenţă şi drift de mică putere

**DIODE**

— cu contact punctiform
— redresoare de medie putere
— fotodiode

## COMPONENTE ACTIVE CU Si

**TRANZISTOARE PLANARE**

— de înaltă frecvenţă şi comutaţie

**DIODE**

— stabilizatoare de tensiune, de mică putere
— redresoare de mică putere
— redresoare de medie putere
— redresoare pentru puteri mari

## CIRCUITE INTEGRATE

**LOGICE**

— de viteză medie
— rapide

**LINIARE**

* STYROFLEX: marca înregistrată Norddeutsche Seekabelwerke A.
** MYLAR: marcă înregistrată Du Pont

**ÎNTREPRINDEREA DE PIESE RADIO ŞI SEMICONDUCTORI BĂNEASA**

**VIZITAŢI-NE LA TÎRGUL INTERNAŢIONAL BUCUREŞTI 1972**

# ICMP

ÎNTREPRINDEREA DE CONSTRUCŢII METALICE ŞI PREFABRICATE
BUCUREŞTI, Str. Acţiunii nr. 2, sector 5
telefon : 23 87 20

E X E C U T Ă :

- Celule metalice prefabricate de interior şi exterior 10 şi 20 kV pentru staţii de transformare;

- Celule metalice prefabricate de interior 10 şi 20 kV pentru posturi de transformare;

- Posturi de transformare metalice prefabricate de exterior de 10 şi 20 kV;

- Elemente de distribuţie şi conexiuni pentru posturi de transformare şi staţii electrice de transformare;

- Panouri de comandă, protecţie şi servicii proprii din staţiile electrice de transformare pînă la 400 kV;

- Stîlpi din beton armat centrifugat şi vibrat pentru linii electrice şi staţii electrice de transformare pînă la 220 kV;

- Cleme şi armături de racord, suspensie şi tracţiune pentru linii electrice şi staţii aeriene pînă la 400 kV şi linii electrice în cablu pînă la 20 kV;

- Elemente pentru legături electrice între grupuri generatoare şi transformatoare (ecrane cilindrice monofazate, ecrane trifazate, cutii de borne) de 5 000 A şi 10 000 A cu tensiuni pînă la 20 kV.

**celpi** — MARCA ÎNREGISTRATĂ

**DIODE**
- de semnal și comutație
- redresoare
- redresoare pentru curenți mari
- stabilizatoare de tensiune
- de putere cu siliciu

**TRANZISTOARE**
- de joasă frecvență
- de înaltă frecvență și comutație
- de putere

**REZISTOARE**
- cu peliculă de carbon
- bobinate

**CIRCUITE INTEGRATE**

**CONDENSATOARE CERAMICE**
- disc
- tubulare
- plachetă
- ajustabile

**CONDENSATOARE ELECTROLITICE**
- normale
- miniatură
- nepolarizate

**TERMISTOARE**
- ceramice

**CONDENSATOARE**
- polistiren (tip styroflex)
- poliester metalizat
- hîrtie metalizată
- hîrtie echipament auto
- hîrtie antiparazitare
- hîrtie pentru telefonie

# I.P.R.S. Băneasa

**ÎNTREPRINDEREA DE PIESE RADIO ȘI SEMICONDUCTORI BĂNEASA**

Str. Erou Iancu Nicolae nr. 32, BUCUREȘTI II — ROMÂNIA

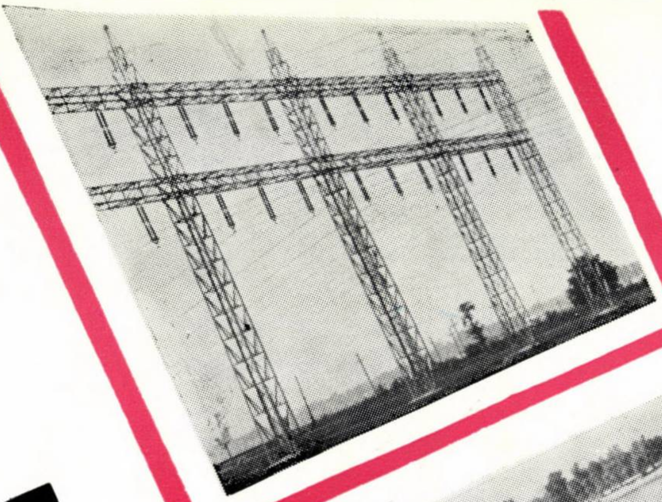
Telefon 33.38.30 Telex 011.203 Serv. Desfacere 33.53.17

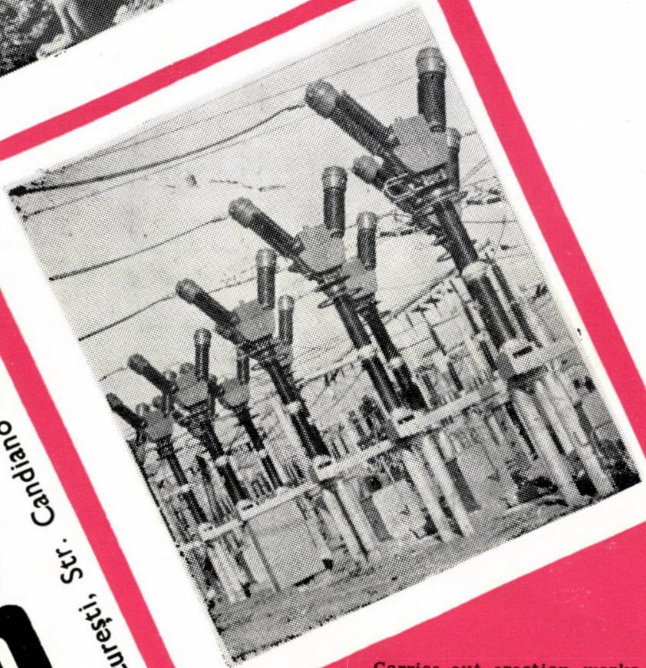
EM

ÎNTREPRINDEREA

# ELECTROMONTAJ

București, Str. Candiano Popescu nr. 1, Sectorul 5, tel. 23.88.30 telex 011.208





Exécute des travaux de montage pour les installations du réseau électrique

- **Lignes électriques de transport pour tensions jusqu'à 400 kV**
- **Postes de transformateurs à 35 – 400 kV**
- **Réseaux d'éclairage public**
- **Lignes électriques de distribution de haute et moyenne tension**
- **Postes de distribution pour toute puissance et tout rapport de transformation**
- **Lignes électriques en câbles souterrains et sous-fluviaux jusqu'à 110 kV**
- **Electrifications rurales**

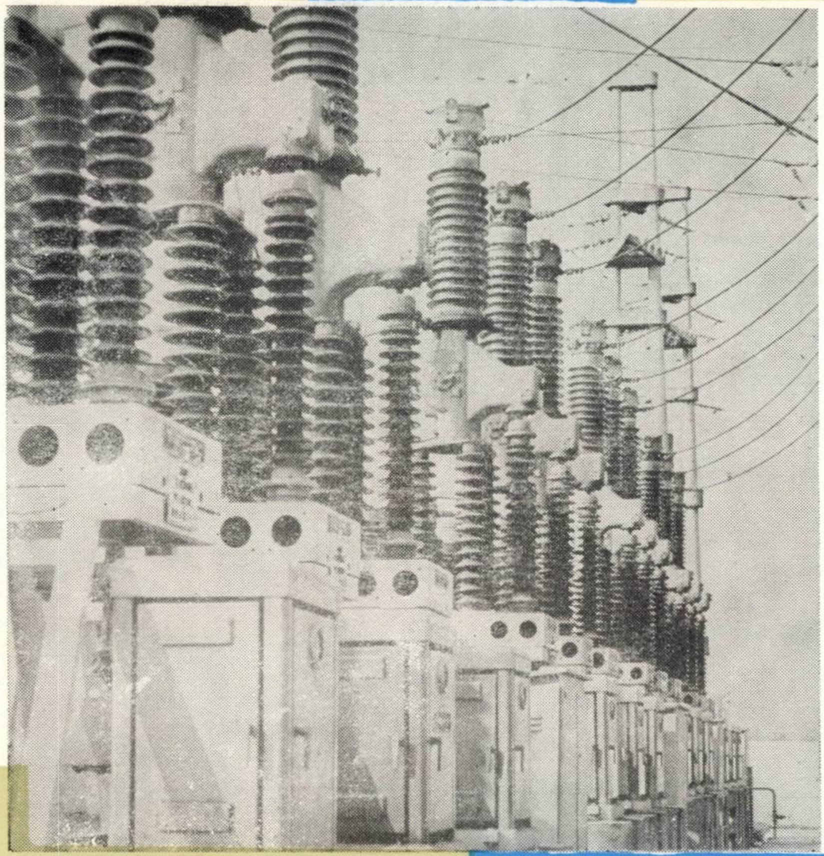
*Les travaux de montage sont exécutés par ÎNTREPRINDEREA ELECTROMONTAJ BUCUREȘTI par des procédés technologiques modernes de haute productivité à durées d'exécution minimes et d'un niveau qualitatif élevé*

Carries out erection works for power systems equipment and electrical networks

- Transmission lines for voltage up to 400 kV
- Transformer substations ranging from 35 to 400 kV
- Public lighting networks
- Distribution lines of high and medium voltage
- Substations for any capacity and transformation ratio
- Underground and under-river electrical cables up to 110 kV
- Rural electrifications

*The erection works are carried out by ÎNTREPRINDEREA ELECTROMONTAJ BUCUREȘTI by high productivity modern technological processes, in short delivery times and at high quality level*

# I.R.E. BRAŞOV



— Asigură o bună deservire a consumatorilor din sectorul industrial, agricol, de transporturi şi casnic din zonă;

— Execută reţele şi posturi de medie tensiune, branşamente şi instalaţii interioare în mediul urban şi rural;

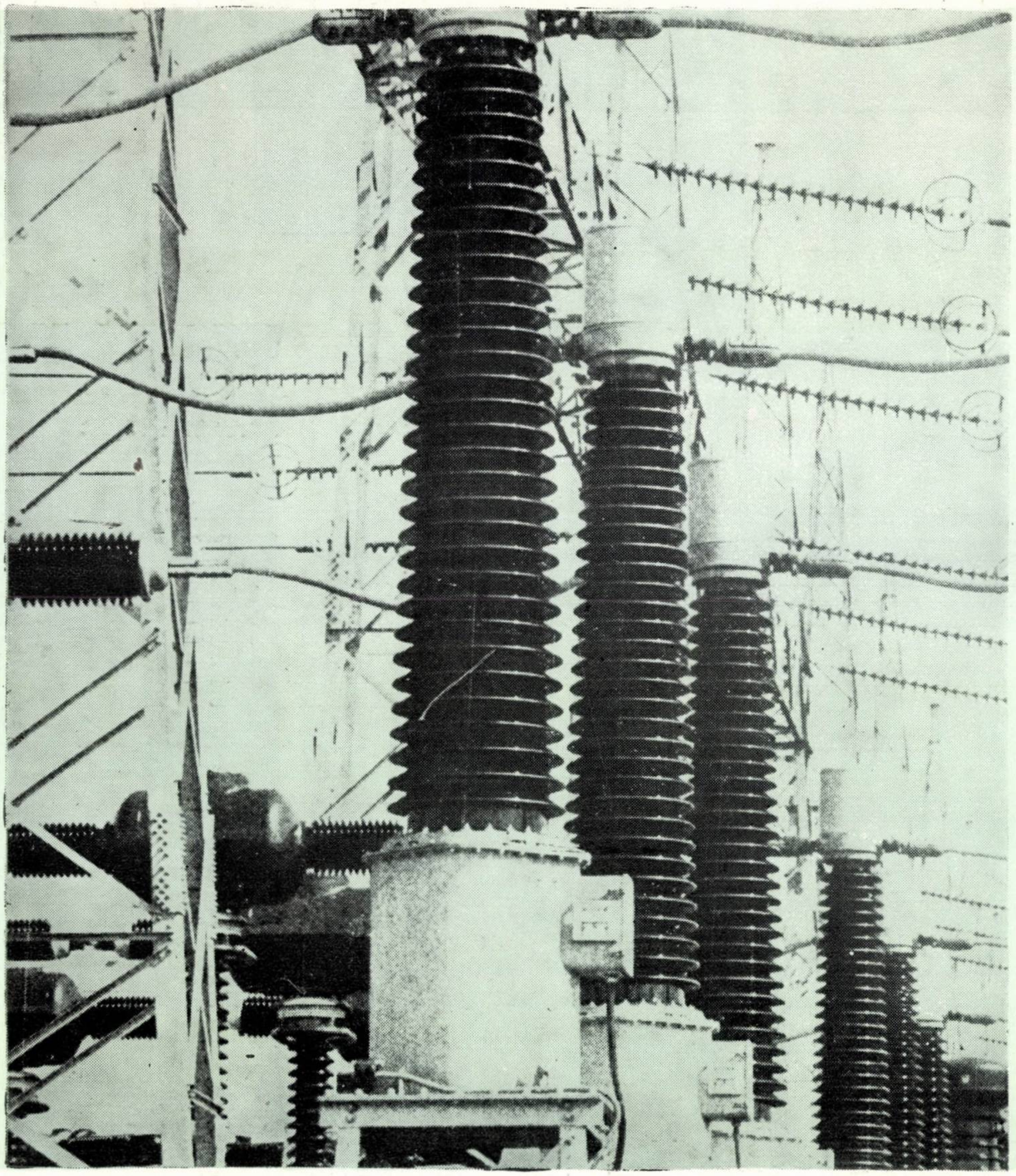
— Proiectează reţele, posturi şi staţii de transformare pentru tensiuni pînă la *110* kV inclusiv, la orice categorie de consumatori.

**ÎNTREPRINDEREA DE REŢELE ELECTRICE — BRAŞOV**

*Str. Republicii nr. 24, tel.: 14922*

# I. R. E. TIMIŞOARA

P-ţa Romanilor nr. 11



- Asigură alimentarea cu energie electrică a consumatorilor din sectorul industrial, agricol, de transporturi şi casnic din zonă.
- Proiectează, execută şi exploatează instalaţii energetice în zona judeţelor: Arad, Timişoara şi Caraş-Severin.
- Execută verificări profilactice ale aparatajului electric şi verificări de protecţii prin relee.
- Realizează lucrări de instalaţii electrice interioare pentru populaţie şi pentru unităţi socialiste în mediu urban şi rural.
- Asigură întreţinerea şi reparaţia instalaţiilor de automatizări termice şi electrice.

écute :

Le montage, la mise en fonction et la mise en exploitation des équipements et installations énergétiques pour centrales thermiques et hydro-électriques :

UIPEMENTS ET INSTALLATIONS POUR CENALES THERMIQUES ET CENTRALES POUR LA ODUCTION COMBINEE CHALEUR/FORCE :

chaudières à vapeur de grande capacité et à paramètres élevés de fonctionnement
turbines à vapeur de puissances unitaires jusqu'à 350 MW
installations de combustible pour : charbon, mazout, gaz
autres installations méchaniques, afférentes aux centrales thermiques : récipients, conduites, pompes etc.

ÉQUIPEMENTS ET INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES POUR CENTRALES THERMIQUES, HYDRO-ÉLECTRIQUES, POSTES DE TRANSFORMATEURS ET INSTALLATIONS SPÉCIALES

- installations de commutation primaire jusqu'à une tension de 400 kV y compris
- installations pour les services auxiliaires aux centrales et postes de transformateurs
- installations de commutation secondaire
- installations d'automatisation, etc.

ries out :

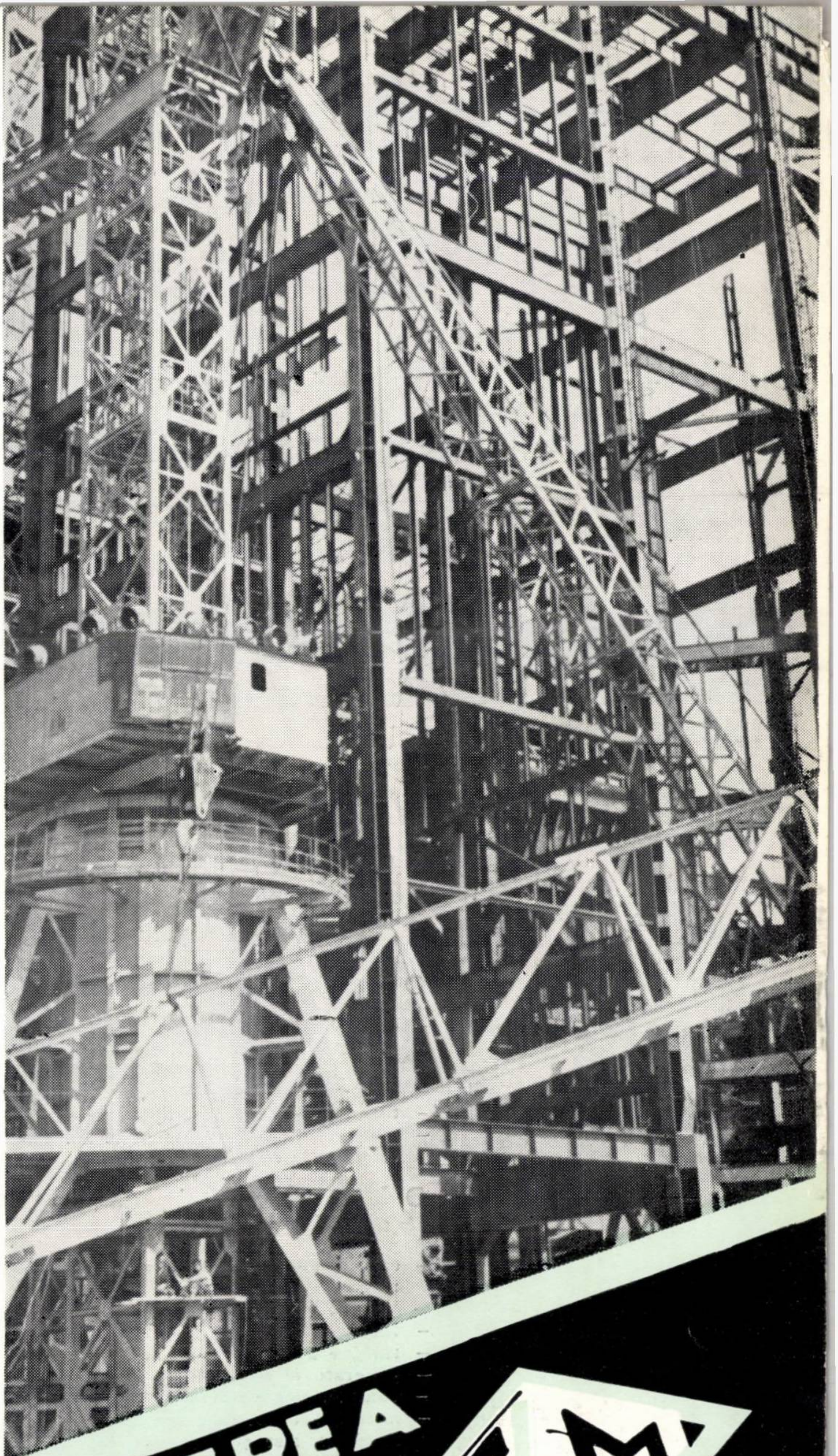
ction, operation and commissioning of power ipments and installations for thermal and hydrotric power plants

NSTALLATIONS AND EQUIPMENTS FOR THERMAL POWER PLANTS AND FOR COMBINED HEAT AND POWER PLANTS :

boilers of high capacity and high operational parameters
steam turbines up to 350 MW per unit
fuel installations for : coal, fuel-oil, gas
other mechanic equipment necessary for thermal power plants : tanks, pipes, pumps etc.

QUIPMENTS FOR HYDRO-ELECTRIC OWER PLANTS AND HYDRO-TECHNIAL INSTALLATIONS:

hydraulic turbines of all types, up to 176 MW per unit
penstocks
other mechanic equipment for hydro-electric power plants
equipments and installations for locks

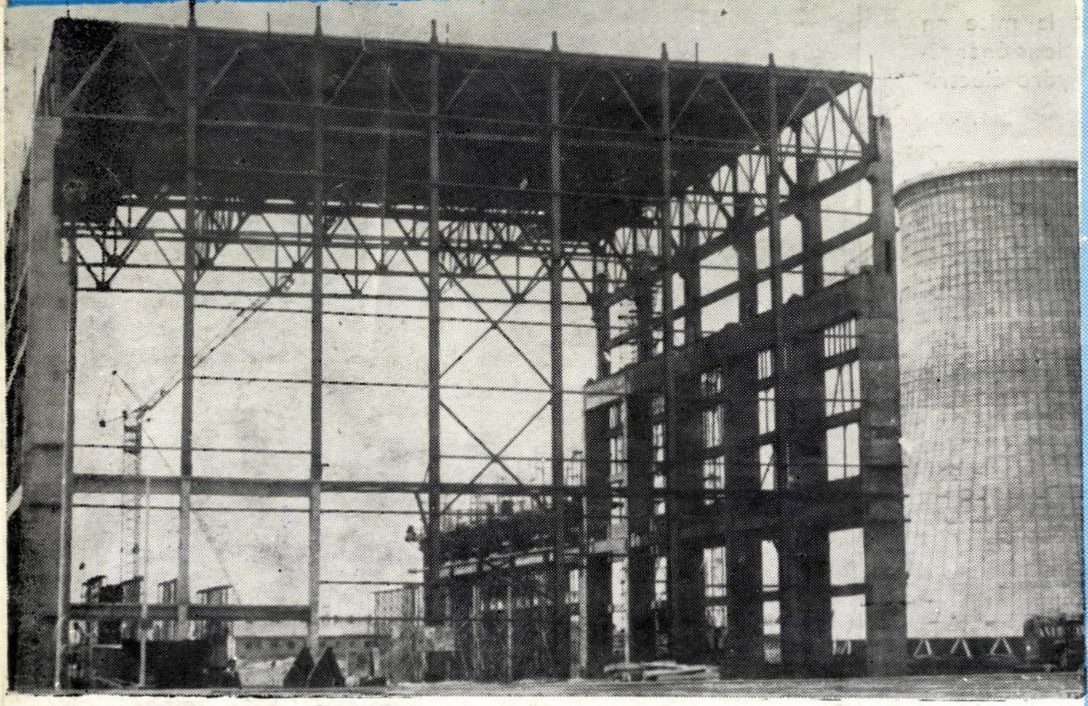


INTREPRINDEREA

Energomontaj

E.M.

BUCUREȘTI, Sectorul 1, Calea Dorobanți nr. 105
Tel. : 12.76.30, telex : 335



# TCME

**TRUSTUL DE CONSTRUCŢII ŞI MONTAJE ENERGETICE**
**— B U C U R E Ş T I —**

*Calea Moşilor nr. 158* *Sectorul 4*
*telefon: 16.63.30.* *telex 271*

1973 JAN

Execută prin unităţile sale:

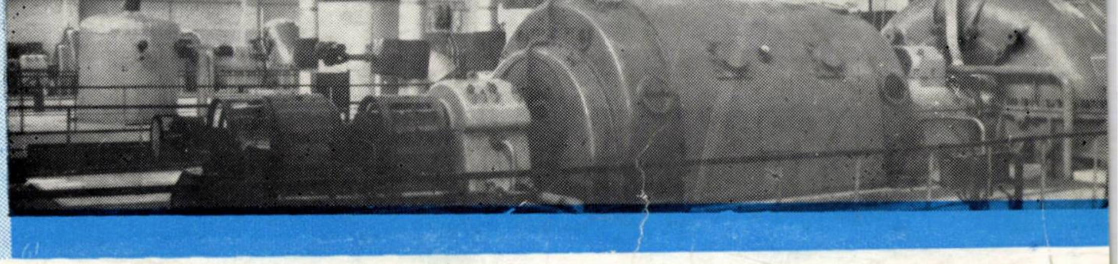
● **Lucrări de construcţii termoenergetice:**

- centrale termoelectrice
- termoficări urbane şi industriale
- construcţii hidrotehnice aferente centralelor termoelectrice
- coşuri de fum prin glisare, cu înălţimi pînă la 250 m
- turnuri de răcire cu tiraj natural şi tiraj forţat
- montaje de prefabricate grele din beton armat pentru orice construcţie termoenergetică

● **Lucrări de montaj pentru centrale termo şi hidroelectrice**

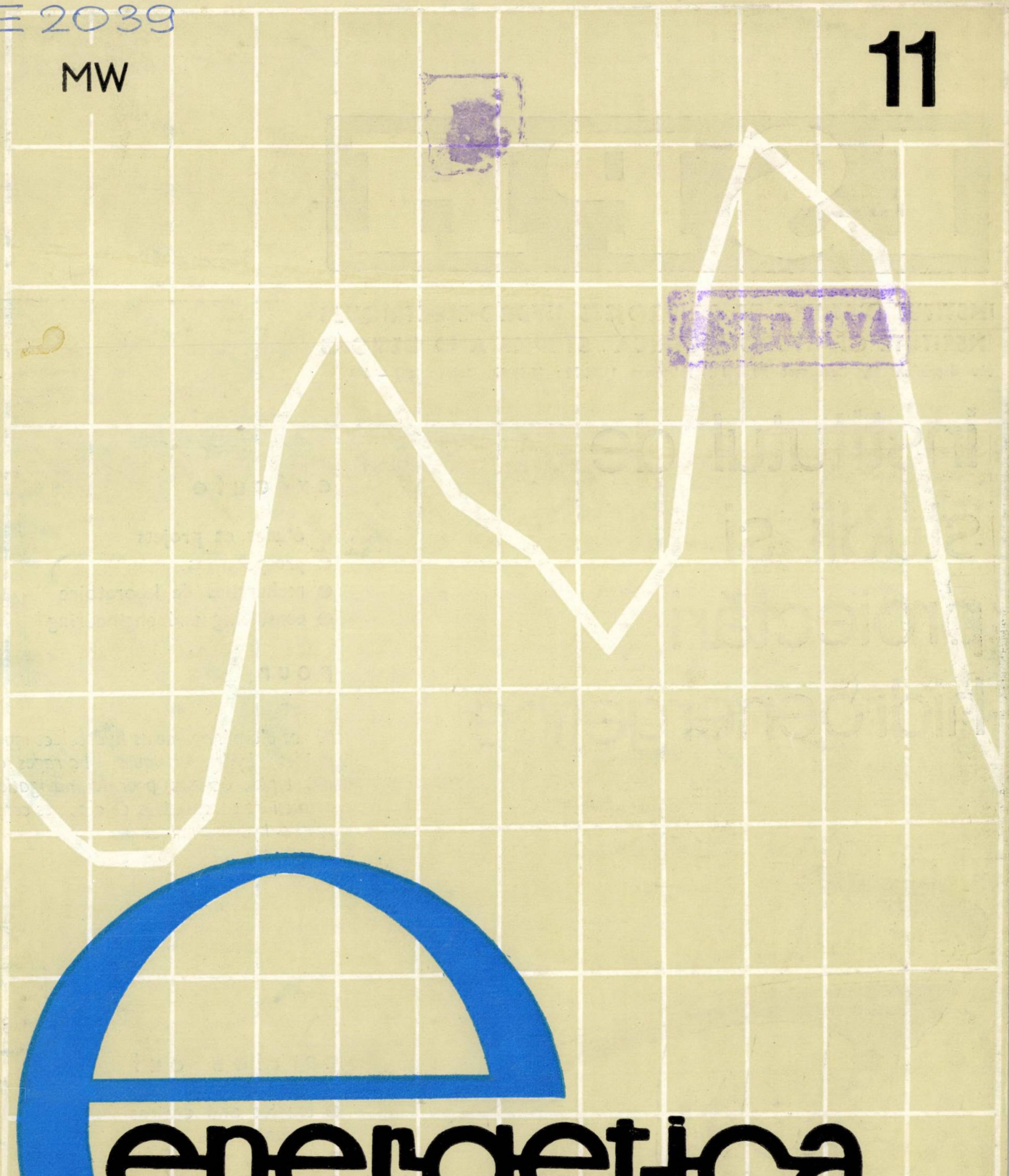
- cazane de abur moderne de mari capacităţi cu parametri ridicaţi
- turbine cu abur pînă la 345 MW
- turbine cu gaze pînă la 35 MW
- turbine hidraulice pînă la 176 MW
- generatoare electrice
- compensatoare sincrone
- instalaţii termomecanice şi hidromecanice pentru centrale termoelectrice şi hidroelectrice
- instalaţii electrice de joasă, înaltă şi foarte înaltă tensiune, aferente centralelor electrice
- instalaţii de măsură, control, automatizare, atît la partea mecanică cît şi la partea electrică.

● **Lucrările de construcţii şi montaje se execută de către Trustul de Construcţii şi Montaje Energetice prin metode tehnologice moderne de mari productivităţi, în durate de timp minime şi la un înalt grad de calitate.**



E 2039

11




# energetica

VOLUMUL XX
BUCUREȘTI • NOIEMBRIE 1972

# ISPH

INSTITUT D'ETUDES ET DE PROJETS HYDRO-ELECTRIQUES
INSTITUTE OF HYDROELECTRICAL STUDIES AND DESIGNS
Bb. Republicii 29, Bucharest Romania. Telephone 14.72.70 ; 15.89.60. Telex : 011 — 443

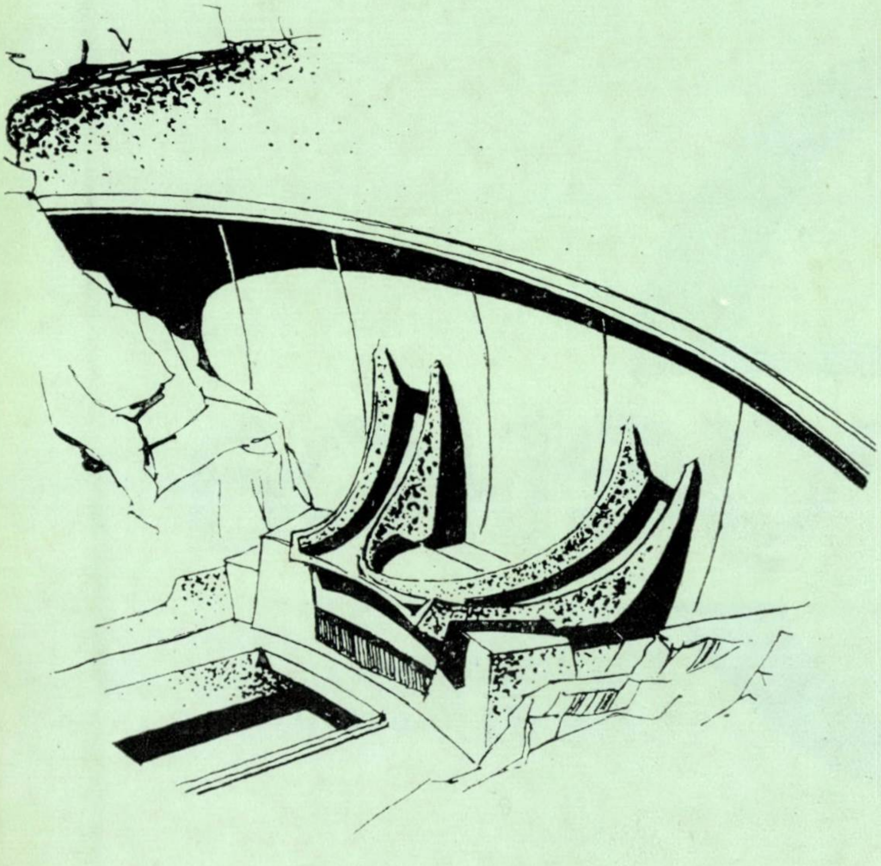
## institutul de studii și proiectări hidroenergetice

exécute

- études et projets
- prospections
- recherches de laboratoire
- consulting and engineering

pour

*schémas d'aménagements hydroélectriques centrales hydroélectriques, barrages de divers types, écluses pour la navigation constructions souterraines ét d'autres constructions hydrotechniques*



carries out

- studies and designs
- prospections
- laboratory researches
- consulting and engineering

for

*schemes for hydro-electric developments, hydro-electric plants, different types of dams, navigation locks, underground constructions and other hydraulic works*

# ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 20 Nr. 11 NOIEMBRIE

## *Cuprinsul*



| | | Pag. |
|---|---|---|
| *Popescu, S.* | **Realizarea unor protecţii de distanţă tranzistorizate folosind caracteristici de măsurare conice** | 485—493 |
| *Preda, L.* şi *Voinea, E.* | **Posibilităţi de îmbunătăţire a unei scheme de semnalizare şi comandă la distanţă a separatoarelor din centralele şi staţiile electrice, prin aplicarea algebrei logice** | 494—499 |
| *Lăzărescu, E., Simionescu, A., Popîrda, V., Murgu, Z.* şi *Bârjoianu, Al.* | **Optimizarea parametrilor de funcţionare la instalaţiile industriale de aer comprimat** | 500—505 |
| *Máthé, B.* şi *Moldoveanu, C.* | **Încercarea la scurtcircuit brusc a transformatoarelor privită de pe poziţia beneficiarului** | 506—512 |
| *Gârlaşu, Şt.* | **Estimarea puterii reactive în scopul compensării la instalaţii cu acţionări reglabile cu tiristoare şi recuperare de energie** | 512—519 |
| *Ruzvan, T., Beldiman, M., Cusursuz, Gh.* şi *Usatiuc, S.* | **Folosirea piloţilor foraţi la construcţia reţelelor supraterane de termoficare** | 520—524 |
| *Popescu-Ghimpaţi, Cr.* | **Avarii semnalate în exploatarea coşurilor de fum din centralele electrice** | 524—532 |

CRONICĂ

RECENZII

INFORMAŢII TEHNICE



COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. univ. emerit ing. I. D. STĂNCESCU, redactor responsabil, ing. Gr. IORGULESCU, redactor responsabil adjunct, conf. ing. I. A. BADEA, ing. ST. BERENGHI, conf. ing. A. COGĂLNICEANU, dr. ing. P. DIMO, membru corespondent al Academiei Republicii Socialiste România, laureat al Premiului de Stat, ing. H. FURTUNESCU, ing. P. IFTIME, ing. L. LUCA, ing. B. MARCU, dr. ing. A. MĂCRIŞ, conf. ing. C. MIHĂILEANU, prof. dr. ing. V. I. NIŢU, ing. A. SPÎNU, ing. R. ZANE


**OFICIUL DE DOCUMENTARE ENERGETICĂ**

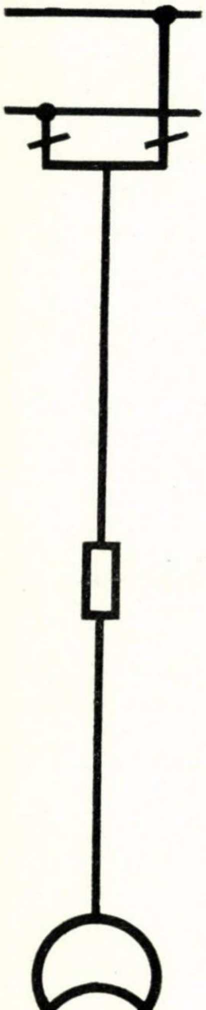
# ICENERG

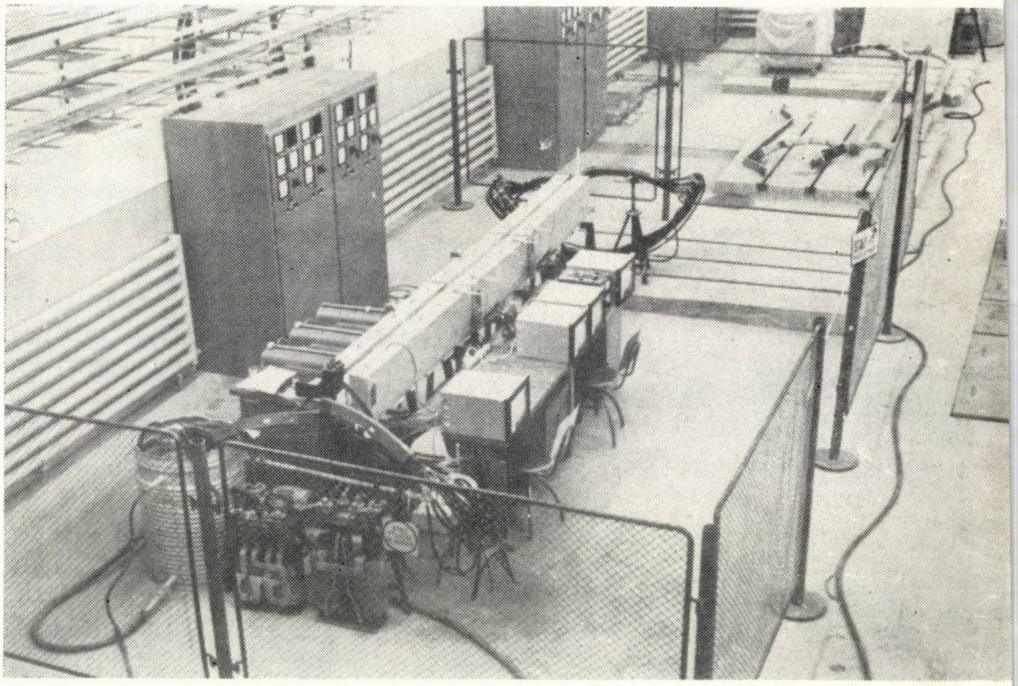
## INSTITUTUL DE CERCETĂRI ELECTROENERGETICE ŞI PENTRU TERMOFICARE

Bucureşti, sector 4, Str. Doamnei nr. 14—16, Telefon : 166560—150890

**EXECUTĂ CERCETĂRI ŞTIINŢIFICE ŞI ACORDĂ ASISTENŢĂ TEHNICĂ PENTRU ASIGURAREA :**

**— dezvoltării sistemului energetic,**
**— exploatării sigure şi economice a instalaţiilor din sistemul energetic naţional.**





## STAŢIA ICENERG DE ÎNCERCĂRI ELECTRICE

**vă stă la dispoziţie pentru:**

- **Cercetări, experimentări şi măsurări privind comportarea în exploatare a echipamentului electric din sistem în regim normal şi anormal de funcţionare**
- **Cercetări şi experimentări privind caracteristicile de exploatare şi de îmbătrînire accelerată a aparatelor şi maşinilor electrice, a cablurilor şi a elementelor de joncţiune**
- **Experimentări privind rezistenţa la foc a cablurilor electrice**
- **Cercetarea comportării echipamentului electric la vibraţii, zgomote şi solicitări mecanice şi a cauzelor acestora**
- **Cercetări şi măsurări fotometrice pentru optimizarea instalaţiilor de iluminat din centralele electrice şi a iluminatului public**

## СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.316.9:621.382.253

*Попеску, С.:* **Осуществление дистанционных транзисторизованных защит, употребляя конусные измерительные характеристики.**

В работе предложены ряд новых измерительных характеристик, которые могут быть употреблены при дистанционной защите (конические характеристики). Представлены математические отношения определения конических, как и уравнения их моделирования по методу сравнения амплитуды-фазы. В итоге, в виде примера, указывается на возможность осуществления некоторых дистанционных защит употребляя соответствующие характеристики.

Energetica 20 (1972), № 11, стр. 485–493

---

ДК 621.398: 621.311.4: 517

*Преда, В.* и *Войнеа, Е.:* **Возможности улучшения схемы сигнализации и управления на расстояние сепараторами электрических станций, применением алгебры логики**

Energetica 20 (1972), № 11, стр. 494–499

---

ДК 621.515.03

*Лэзэреску, С., Симионеску, А., Попырда, В., Мургу, З.* и *Быржояну, Ал.:* **Оптимизация параметров работы промышленных установок сжатого возздуха**

Выводы, к которым пришли методом, разработанным авторами, касаются лишь внешних трубопроводов в покрытии, хотя метод имеет более широкое применение.

Метод учитывает цену электрической энергии и трубопроводов, годовой срок использования установок в сумму местных сопротивлений для 100 м трубопровода.

Авторы устанавливают формулу очень простого применения, позволяющую выбирать экономичную скорость и проверять с этой точки зрения проекты промышленных установок сжатого воздуха.

Energetica 20 (1972), №. 11, стр. 500–505

---

ДК 621.314.001.5

*Матэ, Б.* и *Молдовеану, К.:* **Испытание трансформаторов на внезапное короткое замыкание с точки зрения заказчика**

Представлены испытания на короткое замыкание, гарантируя заказчику качество трансформаторов с точки зрения поведения при термических и динамических нагрузках во время повреждения.

Energetica 20 (1972), №. 11, стр. 506–512

---

ДК 621.3.016.25.001.2

*Гырлашу, Шт.:* **Оценка реактивной мощности в целях компенсации у установок с регулируемым тиристорным приводом и регенерацией энергии**

Energetica 20 (1972), №. 11, стр. 512–519

---

ДК 624.155: 621.365

*Рузван, Т., Белдиман, М., Кусурсуз, Г.* и *Усатюк, С.:* **Применение набивных свай при строительстве поверхностных теплофикационных сетей**

Предлогается изменение непосредственного основания, основанием на неглубинных набивных сваях, установленных с помошью специального оборудования. Поверхностная часть, на которую укладываются трубопроводы, строится по обычным решениям.

Energetica 20 (1972), №. 11, стр. 520–524

---

ДК 624.027.004.6: 621.311.22

*Попеску-Гимпаци, Кр.:* **Аварии при эксплуатации дымовых труб элетрических станций**

Статья представляет основные аварии у дымовых труб мощных электростанций, употребляющих мазут и уголь с большим содержанием сульфа; указываются и способы решения.

Energetica 20 (1972), № 11, стр. 524–532

## INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.316.9 : 621.382.253

*Popescu, S.:* **Transistorisierter Fernschutzvorrichtungen mit konischen Messcharakteristiken**

Es wird eine Reihe neuartiger, für Fernschutz anwendbarar konischer Messcharakteristiken vorgeschlagen. Die mathematischen Beziehungen der Kegelberechnung sowie die das Vergleichsverfahren Amplitüde-Phase nutzenden Modellierungsgleichungen werden dargestellt. Als Beispiel wird die Möglichkeit eines Distanzschutzes mit Hilfe dieser Charakteristiken nachgewiesen.

Energetica 20 (1972), H. 11, S. 485–493

---

DK 621.398 : 621.311.4 : 517

*Preda, V.* und *Voinea, E.:* **Möglichkeiten der Verbesserung eines Melde- und Fernsteuerschaltbildes von Trennern in Kraftwerken und Schaltwarten vermittels Anwendung logischer Algebra**

Energetica 20 (1972), H. 11, S. 494–499

---

DK 621.515.03

*Lăzărescu, S., Simionescu, A., Popîrda, V., Murgu, Z.* und *Bârjoianu, Al.:* **Bestauslegung der Betriebsparameter industrieller Druckluftanlagen**

Die mit dem von den Verfassern ausgearbeiteten Verfahren errechneten. Ergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf äussere Rohrleitungen im Dach, obwohl das Verfahren eine weitere Anwendungsmöglichkeit bietet.

Das Verfahren berücksichtigt den Preis der elektrischen Energie und der Leitungen, die jährliche Benutzungsdauer der Anlagen sowie die Summe der örtiichen Widerstände je 100m Rohrleitung. Die Verfasser ermitteln eine sehr einfache Anwendungsformel, welche die Auswahl einer wirtschaftlichen Geschwindigkeit und Überprüfung der Projekte von Industriedruckluftanlanlagen vom diesen Standpunkt ermöglichen.

Energetica 20 (1972, H. 11, S. 500–505

---

DK 621.314.001.5

*Máthé, B.,* und *Moldoveanu, C.:* **Probeweise plötzliche Kurzschliessung von Transformatoren vom Standpunkt der Eigner betrachtet**

Es werden die Kurzschlussproben aufgezählt, welche dem Eigner eine Garantie in Bezug auf die Qualität der Transformatoren, beziehungsweise auf das Verhalten derselben bei thermischen und dynamischen Belastungen während Störungen gewähren können.

Energetica 20 (1972), H. 11, S. 506–512

---

DK 621.3 : 016.25.001.2

*Gârlașu, Șt.:* **Einschätzung der Blindleistung zwecks Ausgleichs bei thiristorgesteuerten Anlagen mit Energierückgewinnung**

Energetica 20 (1972), H. 11, S. 512–519

---

DK 624.155 : 621.365

*Ruzvan, T., Beldiman, M., Cusursuz, Gh.* und *Usatiuc, S.:* **Gebrauch in Bohrlöcher eingebrachter Pfähle bei Errichtung oberirdischer Fernheizleitungen**

Vorschlag herkömmliche Gründungen durch Gründungen auf Pfählengeringer Tiefe, zu ersetzen. Diese in Bohrungen eingeführte Pfähle sind mit besonderen Vorrichtungen auszuführen, während die oberhalb des Bodens befindlichen Bauteile, auf denen die Rohrleitungen gelegt werden, nach üblichen Verfahren zu errichten wären.

Energetica 20 (1972), H. 11, S. 520–524

---

DK 624.027.004.6 :621.311.22

*Popescu-Ghimpați, Cr.:* **Störungen beim Betrieb von Essen aus Wärmekraftwerken**

Der Aufsatz enthält eine Darstellung der wichtigsten Störungen von Abgase-Essen grosser Wärmekraftwerke, welche mit stark schwefelhaltigen Schweröl oder Kohlen gefeuert werden. Es werden Hinweise für Beseitigung der Störungen gegeben.

Energetica 20 (1972), H 11, S. 524–532

# SOMMAIRE

CD 621.316.9 : 382.253

*Popescu, S.* : **La réalisation de protections de distances transistorisées employant des caractéristiques de mesure coniques**

L'auteur propose une série de caractéristiques de mesure nouvelles qui peuvent être employées dans une protection de distance (caractéristiques coniques). Il indique les relations mathématiques pour définir les caracteristiques et présente les équations pour les modèles en employant la méthode de comparaison amplitude—phase.

Pour conclure il donne comme exemple la réalisation de protections de distance utilisant les caractéristiques citées ci-dessus.

Energetica 20 (1972), no. 11, p. 485—493

---

CD 621.515.03

*Preda, V.* et *Voinea, E.* : **Possibilités d'amélioration d'un schéma de signalisation et commande à distance des coupe-circuits dans les centrales et les postes électriques à l'aide de l'algèbre logique**

Energetica 20 (1972), no. 11, p. 494—499

---

CD 621.515.03

*Lăzărescu, S., Simionescu, A., Popîrda, V., Murgu, Z.* et *Bârjoianu, Al.*; **L'optimisation des paramètres de fonctionnement des installations industrielles d'air comprimé**

Les conclusions obtenues par les auteurs à l'aide de leur méthode se rapportent seulement aux conduites extérieures, en tôle, quoique la méthode ait une application plus générale. La méthode tient compte du prix de l'électricité et des conduites, de la durée annuelle d'emploi des installations et de la somme des résistances locales pour 100 m de conduite.

Les auteurs établissent une formule d'application très simple, permettant de choisir une vitesse économique et de vérifier les projets des installations industrielles d'air comprimée de ce point de vue.

Energetica 20 (1972), no. 11, p. 500—505

---

CD 621.314.001.5

*Mathé, B.* et *Moldoveanu, C.* : **Essai des transformateurs au court-circuit brusque ; le point de vue du client**

Les auteurs énumèrent les essais de coupures brusques qui peuvent offrir une garantie au client sur les qualités des transformateurs, à savoir leur tenue en cas de sollicitations thermiques et dynamiques pendant le défaut.

Energetica 20 (1972), no. 11, p. 506—512

---

CD 621.3.016.25.001.2

*Gârlașu, Șt.* : **L'estimation de la puissance réactive en vue de compensation dans les installations règlables par thiristrons avec récupération d'énergie**

Energetica 20 (1972), no. 11, p. 512—519

---

CD 624.155:621.365

*Ruzvan, T., Beldiman, M., Cusursuz, Gh.* et *Usatiuc, S.* : **L'emploi de piles forées dans la construction des réseaux terrestres de chauffage à distance**

Les auteurs proposent de remplacer la fondation directe par la fondation sur piles forées de faible profondeur, exécutées à l'aide d'outillages spéciaux. La partie supérieure où viennent posés les tuyaux est exécutée par les procédés courants.

Energetica 20 (1972), no. 11, p. 520—524

---

CD 624.027.004.6:621.311.22

*Popescu-Ghimpați, Cr.*: **Défauts signalés dans l'exploitation des cheminées des centrales thermiques**

L'article passe en revue les défauts principaux paraissant dans les cheminées des centrales thermiques de grande puissance brûlant du fuel-oil et du charbon à haute teneur en soufre et indique la manière de résoudre ces problèmes.

Energetica 20 (1972), no. 11, p. 524—532

---

# CONTENTS

DC 621.316.9 : 382.253

*Popescu, S.* : **Solid-state distance protection using conical measuring characteristics**

Here is suggested a series of new measuring characteristics to be used for distance protection (conical characteristics). Mathematical relations for defining these conical characteristics and equations for modelling them by using the phase — amplitude comparison method are also given.

An example shows the potential realisation of a distance protection by using the said characteristics.

Energetica 20 (1972), nr. 11, p. 485—493

---

DC 621.398 : 621.311.4 : 517

*Preda, V.* and *Voinea, E.* : **The potential improving of a remote control and warning diagram for switches used at power plants and substations by the application of logic algebra**

Energetica 20 (1972), nr. 11, p. 494—499

---

DC 621.515.03

*Lăzărescu, S., Simionescu, A., Popîrda, V., Murgu, Z.* and *Bârjoianu, Al.* : **The optimisation of the operating parameters of industrial compressed air plants**

The conclusions obtained by means of the authors' method concern only roof-mounted pipes, although the method has a more general application.

This method considers the price of electricity and pipes, the annual working time of the plant and the sum of local resistances for each 100 m of pipe.

The authors establish a very simple formula which allows the choice of an economic speed and the testing of industrial compresed air plant designs, from this point of view.

Energetica 20 (1972), nr. 11, p. 500—505

---

DC 621.314.001.15

*Máthé, B.* and *Moldoveanu, C.* : **Transformers tested for sudden short-circuits ; the customer's point of view**

Here are listed short-circuit tests for transformers through which the customer may obtain guarantees regarding their behaviour under thermal and dynamic stresses during failures.

Energetica 20 (1972), nr. 11, p. 506—512

---

DC 621.3.016.25.001.2

*Gârlașu, St.* : **An estimation of reactive power for the purpose of compensation in thyristor controlled installations with energy recovery**

Energetica 20 (1972), nr. 11, p. 512—519

---

DC 624.155 : 621.365

*Ruzvan, T., Beldiman, M., Cusursuz, Gh.* and *Usatiuc, S.* : **Driven piles used to build overground district heating systems**

The authors propose to replace direct foundations with foundations using piles driven at low depth by means of special equipment. The top part bearing the pipes will be built following conventional systems.

Energetica 20 (1972), nr. 11, p. 520—524

---

DC 624.027.004.6 :621.311.22

*Popescu-Ghimpați, Cr.*: **Failures in the operation of power plant chimneys**

This article reviews tbe main failures occuring in chimneys servicing high-power electric power plants burning fuel-oil and coal with high sulphur content; methods used to remove these failures are also outlined.

Energetica 20 (1972), nr. 11, p. 524—532

# Realizarea unor protecții de distanță tranzistorizate folosind caracteristici de măsurare conice

Dr. ing. S. Popescu*)

Dintre toate protecțiile prin relee aplicate sistemelor electroenergetice moderne, cea de distanță este considerată în prezent cel mai eficient mijloc de protecție, datorită faptului că asigură o sensibilitate și o selectivitate ridicate, deși face parte din categoria protecțiilor cu un singur punct de măsurare (lipsesc legăturile fizice sau de înaltă frecvență). Datorită acestui fapt, în cadrul cercetărilor pentru dezvoltarea sistemelor de protecție prin relee, protecția de distanță deține în prezent un loc important.

Majoritatea studiilor și cercetărilor privind protecția de distanță sînt axate în stadiul actual pe următoarele direcții principale:

a) tipurile de caracteristici folosite pentru elementele de măsurare a impedanței;

b) metodele de modelare fizică a caracteristicilor funcționale;

c) elementele utilizate în realizarea diverselor părți componente ale ansamblului de protecție.

Pe măsura dezvoltării sistemelor energetice, a creșterii tensiunilor de serviciu și a puterilor transportate, problema furnizării în condiții optime a energiei electrice impune o creștere substanțială a exigenței față de performanțele noilor tipuri de protecție de distanță.

În țara noastră, direcțiile de cercetare enunțate au fost abordate în cadrul unei serii de lucrări [2], [5], rezultatele obținute putînd fi sintetizate astfel:

— folosirea unor caracteristici combinate (circulare și eliptice) precum și a unora poligonale;

— modelarea fizică a caracteristicilor de pornire și măsurare cu ajutorul unei metode originale **) (metoda de comparație amplitudine-fază);

— tranzistorizarea completă a sistemelor de protecție de distanță, folosind semiconductoare convenționale sau circuite integrate.

Activitatea de mai sus a fost concretizată în construirea prin colaborarea I.P.B.—M.I.C.M. a două prototipuri semiindustriale de relee de distanță denumite RDT—1 și RDT—2.

Autorul își propune să extindă gama tipurilor de caracteristici funcționale folosite în prezent aplicînd metoda de comparație amplitudine-fază, fapt care duce la posibilitatea realizării unor noi tipuri de protecții de distanță.

*) Stelian Popescu este conferențiar la Institutul politehnic București.

**) C. Penescu — certificat de autor și brevet de invenție nr. 48 804 din 12.01.65 eliberat de O.S.S.I. — R.S.R

**Caracteristici conice generalizate**

Pentru realizarea unor caracteristici elementare noi se poate folosi, teoretic, orice fel de curbă în planul impedanței. În scopul propus și avînd în vedere posibilitățile largi de combinare a caracteristicilor elementare se poate considera ca satisfăcătoare din punct de vedere practic utilizarea curbelor plane de gradul 2, în speță a conicelor (elipse, parabole, hiperbole), precum și a cercurilor și a dreptelor obținute din conice prin degenerare.

După cum se știe, ecuația generală a conicelor exprimată în coordonate carteziene este:

$$a_{11}R^2+2a_{12}RX+a_{22}X^2+2a_{13}R+2a_{23}X+a_{33}=0 \quad (1)$$

Condiția de existență a conicelor fiind determinată de:

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} \neq 0 \quad (2)$$

$$\left.\begin{matrix} a_{21} \equiv a_{12} \\ a_{31} \equiv a_{13} \\ a_{32} \equiv a_{23} \end{matrix}\right\}$$

În această situație ecuația (1) exprimă următoarea conică:

ELIPSĂ — dacă $\delta = a_{11} \cdot a_{22} - a^2_{12} > 0$ $(3)_1$

PARABOLĂ — dacă $\delta = a_{11} \cdot a_{22} - a^2_{12} = 0$ $(3)_2$

HIPERBOLĂ — dacă $\delta = a_{11} \cdot a_{22} - a^2_{12} < 0$ $(3)_3$

*Elipsă generalizată* ***) (fig. 1)

Coeficienții ecuației generale sînt dați de următoarele expresii:

$$a_{11} = \sin^2\psi + \rho^2 \cos^2\psi \quad (4)_1$$

$$a_{12} = -(1-\rho^2)\sin\psi\cos\psi \quad (4)_2$$

$$a_{22} = \cos^2\psi + \rho^2 \sin^2\psi \quad (4)_3$$

$$a_{13} = -K\rho^2(\rho e_R \cos\psi - e_X \sin\psi) \quad (4)_4$$

$$a_{23} = -K\rho^2(\rho e_R \sin\psi + e_X \cos\psi) \quad (4)_5$$

$$a_{33} = -K^2\rho^2(1 - e_R^2 - e_X^2) \quad (4)_6$$

***) Pentru omogenitatea lucrării au fost preluate relațiile din [2].

în care se identifică :

$K = a$ — semiaxa mare a elipsei;

$b$ — semiaxa mică;

$\rho = \frac{b}{a} = \frac{b}{K}$ — aplatizarea elipsei;

$e_R = \frac{R_0}{a} = \frac{R_0}{K}$ — excentricitatea elipsei de-a lungul axei mari;

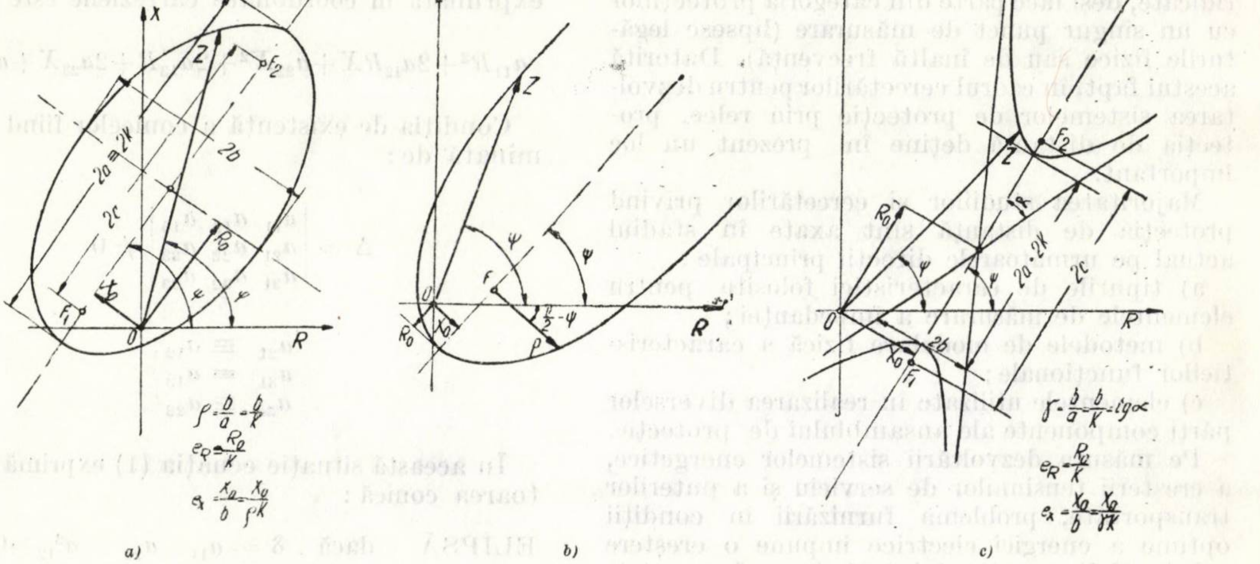



Fig. 1

$e_X = \frac{X_0}{b} = \frac{X_0}{\rho K}$ — excentricitatea de-a lungul axei mici;

$R_0$, $X_0$ — deplasarea longitudinală, respectiv transversală a centrului elipsei față de originea axelor de coordonate;

$\psi$ — unghiul de rotire a axei mari.

Caracteristica-limită de măsurare în cazul elipsei generalizate este dată de ecuația acesteia transcrisă în coordonate polare :

$$Z = K \cdot \rho \frac{e_X \sin(\varphi - \psi) + \rho e_R \cos(\varphi - \psi)}{\sin^2(\varphi - \psi) + \rho^2 \cos^2(\varphi - \psi)} + \frac{\sqrt{\sin^2(\varphi - \psi) + \rho^2 \cos^2(\varphi - \psi) - [e_R \sin(\varphi - \psi) - e_X \cos(\varphi - \psi)]^2}}{\sin^2(\varphi - \psi) + \rho^2 \cos^2(\varphi - \psi)} \quad (5)$$

Din relațiile de mai sus se constată că o elipsă oarecare este definită prin cinci parametri independenți : doi parametri ($K$ și $\rho$) care determină dimensiunile elipsei și trei ($e_R$, $e_X$ și $\psi$) care determină poziția acesteia în planul $Z$.

*Parabolă generalizată* (fig. 1 *b*)

Coeficienții ecuației generale sînt :

$$a_{11} = \sin^2\psi \quad (6)_1$$

$$a_{12} = -\sin\psi \cos\psi \quad (6)_2$$

$$a_{22} = \cos^2\psi \quad (6)_3$$

$$a_{13} = -(p \cos\psi - X_0 \sin\psi) \quad (6)_4$$

$$a_{23} = -(p \sin\psi + X_0 \cos\psi) \quad (6)_5$$

$$a_{33} = X_0^2 + 2\,p R_0 \quad (6)_6$$

în care

$p$ este un parametru *) al parabolei;

$R_0$, $X_0$, $\psi$ aceleași semnificații ca la elipsă.

*) Distanța focar — directoare sau dublul distanței focar — vîrful parabolei.

Caracteristica-limită de măsurare este dată de ecuaţia parabolei transcrisă în coordonate polare :

$$Z = \frac{X_0 \sin(\varphi - \psi) + p \cos(\varphi - \psi)}{\sin^2(\varphi - \psi)} + \frac{\sqrt{p^2 \cos^2(\varphi - \psi) - 2\, p\, R_0 \sin^2(\varphi - \psi) + 2\, p X_0 \sin(\varphi - \psi) \cos(\varphi - \psi)}}{\sin^2(\varphi - \psi)} \qquad (7)$$

Din aceste relaţii se observă că parabola este definită de patru parametri : unul de dimensie ($p$) şi trei de poziţie ($R_0$, $X_0$ şi $\psi$).

*Hiperbolă generalizată* (fig. 1 *c*)

Coeficienţii ecuaţiei generale sînt :

$$a_{11} = \sin^2\psi - \gamma^2 \cos^2\psi \qquad (8)_1$$

$$a_{12} = -(1 + \gamma^2) \sin\psi \cos\psi \qquad (8)_2$$

$$a_{22} = \cos^2\psi - \gamma^2 \sin^2\psi \qquad (8)_3$$

$$a_{13} = K\gamma\,(\gamma e_R \cos\psi + e_X \sin\psi) \qquad (8)_4$$

$$a_{23} = K\gamma\,(\gamma e_R \sin\psi - e_X \cos\psi) \qquad (8)_5$$

$$a_{33} = K^2\gamma^2\,(1 - e_R{}^2 + e_X{}^2) \qquad (8)_6$$

în care

$\gamma = \frac{b}{a} = \frac{b}{K}$ este deschiderea (divergenţa) hiperbolei ;

$K = a$, $b$, $e_R$, $e_X$ — aceleaşi semnificaţii ca la elipsă.

Caracteristica-limită de măsurare este dată de ecuaţia hiperbolei transcrisă în coordonate polare.

$$Z = K \cdot \gamma \frac{\gamma e_R \cos(\varphi - \psi) - e_X \sin(\varphi - \psi)}{\gamma^2 \cos^2(\varphi - \psi) - \sin^2(\varphi - \psi)} + K \cdot \gamma \frac{\sqrt{\gamma^2 \cos^2(\varphi - \psi) - \sin^2(\varphi - \psi) + [e_R \sin(\varphi - \psi) - \gamma e_X \cos(\varphi - \psi)]^2}}{\gamma^2 \cos^2(\varphi - \psi) - \sin^2(\varphi - \psi)} \qquad (9)$$

Se observă că hiperbola este definită de cinci parametri : doi de dimensie ($K$ şi $\gamma$) şi trei de poziţie ($e_R$, $e_X$ şi $\psi$).

Ecuaţiile de definire a elipsei, parabolei şi hiperbolei capătă forme mai simple în situaţia unor cazuri particulare de poziţie, pe baza unor relaţii de interdependenţă între parametri.

**Caracteristici conice cu focar în origine***)

Aceste tipuri de caracteristici reprezintă cazuri particulare de poziţie ale celor de mai sus, ale căror ecuaţii de definire se obţin din relaţiile (4), (5), (6), (7), (8) şi (9) punînd condiţiile :

— deplasarea transversală să fie nulă ($e_x = 0$) ;

— deplasarea longitudinală $R_0$ să fie egală cu semidistanţa focală $c$ pentru elipsă ($R_0 = c = \sqrt{a^2 - b^2}$) şi pentru hiperbolă ($R_0 = c = \sqrt{a^2 + b^2}$) sau cu semiparametrul pentru parabola ($R_0 = p/2$).

Rezultă astfel în cazul tuturor conicelor aceleaşi forme pentru ecuaţiile generale scrise în coordonate carteziene — relaţiile (1), (4), (6) şi (8) :

$$(1 - K_a^2)\, R^2 - 2\, K_a K_r R X + (1 - K_r^2)\, X^2 - 2\, K_a K_i\, R - 2\, K_r K_i X - K_i^2 = 0 \qquad (10)$$

sau în coordonate polare — relaţiile (5), (7) şi (9).

$$Z = \frac{p}{1 - e \cos(\varphi - \psi)} \qquad (11)$$

Noii coeficienţi $K_a$, $K_r$ şi $K_i$, denumiţi convenţional factori de modelare **), capătă pentru fiecare conică diferite expresii, aşa cum se arată în cele ce urmează :

*Elipsă cu focar în origine* (fig. 2 *a*)

$$K_a = \sqrt{1 - \rho^2} \cos\psi = e \cos\psi \qquad (12)_1$$

$$K_r = \sqrt{1 - \rho^2} \sin\psi = e \sin\psi \qquad (12)_2$$

$$K_i = p = K\rho^2 = K\,(1 - e^2) \qquad (12)_3$$

Rezultă : $e = e_R = \sqrt{1 - \rho^2} \Rightarrow e < 1 \qquad (12)_4$

sau, deoarece $e = \sqrt{K_a^2 + K_r^2}$ rezultă condi-

*) După cum se va vedea, aceste tipuri de caracteristici sînt avantajoase deoarece se modelează fizic foarte uşor şi înglobează foarte bine zona de defect.

**) Denumire justificată în paragraful următor.

ţia specială *) de existenţă a elipsei respective **) :

$$K_a^2 + K_r^2 < 1 \qquad (12)_5$$

*Parabolă cu focar în origine* (fig. 2 *b*)

$$K_a = \cos\psi \qquad (13)_1$$

$$K_r = \sin\psi \qquad (13)_2$$

$$K_i = p \qquad (13)_3$$

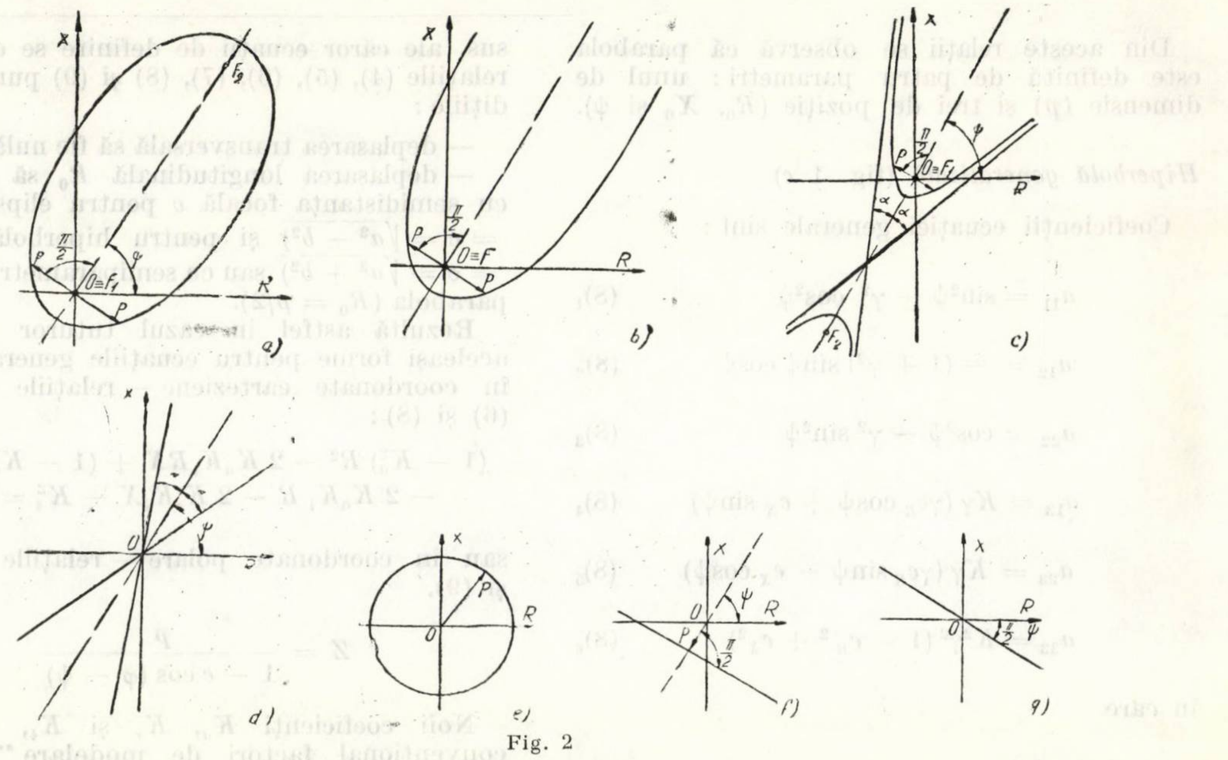



Fig. 2

Rezultă :

$$e = 1 \qquad (13)_4$$

sau condiţia specială de existenţă a parabolei respective

$$K_a^2 + K_r^2 = 1 \qquad (13)_5$$

*Hiperbolă cu focar în origine* (fig. 2 *c*)

$$K_a = \sqrt{1 + \gamma^2}\cos\psi = e\cos\psi \qquad (14)_1$$

$$K_r = \sqrt{1 + \gamma^2}\sin\psi = e\sin\psi \qquad (14)_2$$

$$K_i \equiv p = K\gamma^2 = K(e^2 - 1) \qquad (14)_3$$

*) Condiţia generală de existenţă a tuturor conicelor cu focar în origine se obţine înlocuind în relaţia (2) coeficienţii ecuaţiei (10) şi rezultă :

$$\Delta = -K_i^2 \neq 0 \Rightarrow K_i \neq 0$$

**) Relaţia $(12)_5$ se poate obţine şi din ecuaţia (10) punînd condiţia $(3)_1$.

Rezultă

$$e = \sqrt{1 + \gamma^2} \Rightarrow e > 1 \qquad (14)_4$$

sau condiţia specială de existenţă a hiperbolei respective :

$$K_a^2 + K_r^2 > 1 \qquad (14)_5$$

În continuare vor fi evidenţiate şi alte tipuri de caracteristici, ce pot fi considerate ca făcînd parte din grupa conicelor cu focar în origine, deoarece derivă din acestea prin degenerare. Astfel :

*Drepte concurente în origine* (fig. 2 *d*)

Derivă din hiperbolă cu focar cu origine punînd condiţia :

$$K_i \equiv p = 0 \Rightarrow K = 0$$

În acest caz ecuaţiile (10) şi (11) devin

$$(1 - K_a^2)\,R^2 - 2\,K_a\,K_r\,RX + (1 - K_r^2)\,X^2 = 0, \qquad (10)_1$$

respectiv :

$$Z\,[1 - e\cos(\varphi - \psi)] = 0 \qquad (11)_1$$

Evident, se păstrează condiţia specială :

$$K_a^2 + K_r^2 > 1 \qquad (15)$$

*Cerc cu centrul în origine* (fig. 2 *e*)

Se obţine din formele generale punînd condiţia:

$$e = 0 \quad K_a = K_r = 0 \qquad (16)$$

Rezultă ecuaţiile:

$$R^2 + X^2 - K_i^2 = 0 \qquad (10)_2$$

respectiv

$$Z = p \qquad (11)_2$$

*Dreaptă generalizată* (fig. 2 *f*)

Se obţine din ecuaţiile generale anulînd termenul liber de la numitorul ecuaţiei (11) şi rezultă:

$$K_a R + K_r X + K_i = 0 \qquad (10)_3$$

respectiv:

$$Z = \frac{p}{- e \cos(\varphi - \psi)} \qquad (11)_3$$

*Dreaptă trecînd prin origine* (fig. 2 *g*)

Caracteristica reprezintă un caz particular al celei precedente, impunînd condiţia

$$K_i \equiv p = 0 \qquad (17)$$

şi se obţine:

$$K_a R + K_r X = 0 \qquad (10)_4$$

respectiv:

$$Z \cos(\varphi - \psi) = 0 \qquad (11)_4$$

**Modelarea fizică a conicelor**

Pentru a putea fi folosite în procesul de măsurare a impedanţei, caracteristicile funcţionale ale protecţiilor de distanţă trebuie modelate fizic, respectiv este necesar să se determine acea combinaţie de mărimi active $C_0(U, I, \varphi)$ a cărei anulare determină condiţia la limita de funcţionare a protecţiei, adică:

$$C_0(U, I, \varphi) = 0 \Rightarrow Z_m = Z_R \qquad (18)_1$$

sau

$$C_0(U, I, \varphi) \gtrless 0 \Rightarrow Z_m \lesseqgtr Z_R \qquad (18)_2$$

în care $Z_m$ şi $Z_R$ reprezintă impedanţa măsurată, respectiv reglată a releului.

În prezent se cunosc trei metode de modelare, şi anume:

— metoda comparaţiei de amplitudine;
— metoda comparaţiei de fază;
— metoda comparaţiei amplitudine-fază.

Din cercetările întreprinse a rezultat că prima metodă poate fi aplicată la elipsă şi hiperbolă (nu la parabolă), iar cea de-a doua metodă nu poate fi aplicată la nici o conică. Rezultă astfel încă unul din avantajele substanţiale ale celei de-a treia metode (amplitudine-fază), şi anume acela de a putea fi aplicată la orice tip de caracteristică, indiferent de gradul său de complexitate. În consecinţă această metodă va fi utilizată în cele ce urmează.

*Modelarea conicelor generalizate*

Folosind ecuaţia conicelor exprimată în coordonate carteziene (1) şi înmulţindu-se cu pătratul curentului $I^2$ se obţine:

$$K_a U_a^2 + K_{ar} U_a U_r + K_r U_r^2 + K_p P + K_q Q + K_i I^2 = 0 \qquad (19)$$

în care

$U_a = RI$ este componenta activă a tensiunii;
$U_r = XI$ — componenta reactivă a tensiunii;
$P = RI^2$ — puterea activă;
$Q = XI^2$ — puterea reactivă;
$K_a \equiv a_{11}$;
$K_{ar} \equiv 2\,a_{12}$;
$K_r \equiv \ldots$

Schema-bloc de modelare a acestei relaţii este prezentată în figura 3 şi cuprinde:

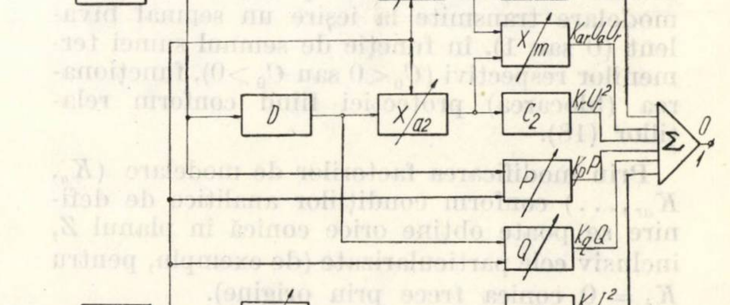



Fig. 3

— subelementele $K_1$ şi $K_2$ pentru multiplicarea (reducerea) tensiunii $U$, respectiv a curentului $I$ aplicate schemei;

— subelementul liniar $L$, care asigură modificarea (reglarea) curentului (termenul $\sqrt{K_i} \cdot I$);

— subelementele de multiplicare activă (amplificatoare detectoare de fază) $X_{a1}$ şi $X_{a2}$, care permit obţinerea tensiunii active, respectiv reactive, folosind şi un subelement defazor $D$;

— subelementele cvadratoare $C_1$, $C_2$ şi $C_3$, care realizează termenii $K_a U_a^2$, $K_r U_r^2$ şi, respectiv, $K_i I^2$;

— subelementul multiplicator $X_m$, prin care se obține termenul $K_{ar}U_aU_r$;

— subelementul de putere activă $P$ și de putere reactivă $Q$, prin care se modelează termenii $K_pP$, respectiv $K_qQ$;

sau, ținînd seama de relațiile (12), (13) și (14) rezultă *):

$$Z - K_aR - K_rX - K_iI = 0 \qquad (20)$$

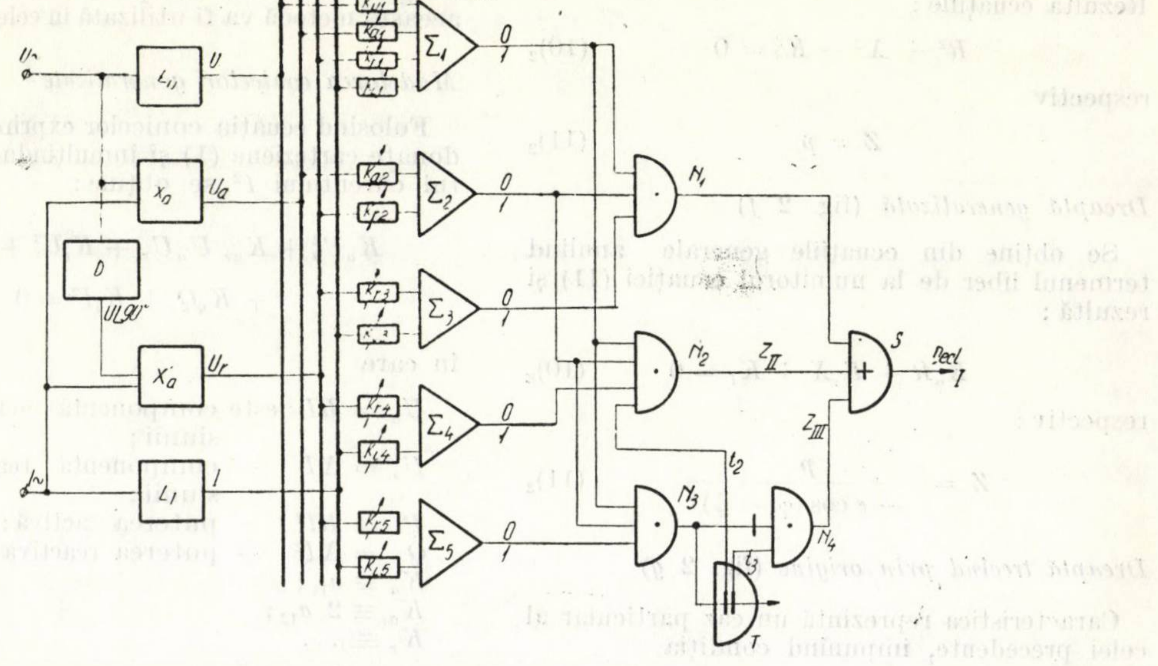


Fig. 4

— amplificatorul sumator Σ detector de zero.

Amplificatorul-detector de zero primind la intrare cele șase mărimi cuprinse în ecuația de modelare transmite la ieșire un semnal bivalent (0 sau 1), în funcție de semnul sumei termenilor respectivi ($C_0<0$ sau $C_0>0$), funcționarea (blocarea) protecției fiind conform relațiilor (18).

Prin modificarea factorilor de modelare ($K_a$, $K_{ar}$, ...) conform condițiilor analitice de definire se poate obține orice conică în planul $Z$, inclusiv cele particularizate (de exemplu, pentru $K_i = 0$ conica trece prin origine).

Rezultă deci că folosind schema-bloc din figura 3 se pot modela, evident, și conicele cu focar în origine. O asemenea soluție este însă oneroasă și în cele ce urmează se va evidenția prin contrast ușurința de modelare a conicelor cu focar în origine.

*Modelarea conicelor cu focar în origine*

Se folosește ecuația (11), care în formă implicită devine:

$$Z - e\cos(\varphi - \psi) - p = 0 \qquad (11)_4$$

Prin înmulțirea cu curentul $I$ se obține relația de modelare:

$$U - K_aU_a - K_rU_r - K_iI = 0 \qquad (21)$$

Schema de modelare **) (fig. 4) este incomparabil mai simplă decît cea precedentă (fig. 3) deoarece:

— numărul de termeni și deci de subelemente este mai mic;

— sînt eliminate subelementele mai dificil de realizat (cvadratoare și de multiplicare).

Practic, factorii de multiplicare ai termenilor de modelare sînt multipli și unei constante arbitrare, astfel că în general relația (21) devine:

$$K'_uU - K'_aU_a - K'_rU_r - K'_iI = 0.$$

În orice caz factorii de modelare determinați anterior ($K_a$, $K_r$, $K_i$), a căror valoare determină tipul și poziția conicei în planul $Z$, sînt definiți astfel:

$$K_a = \frac{K'_a}{K'_u}; \quad K_r = \frac{K'_r}{K'_u}; \quad K_i = \frac{K'_i}{K'_u}$$

*) Se observă că ecuația (20) are o formă hibridă, deoarece, deși aparent de gradul I în $Z$, $R$ și $X$, este în realitate o ecuație de gradul II în $R$ și $X$ ($Z = \sqrt{R^2 + X^2}$).

**) Se va considera pentru comparație numai partea din stînga a schemei, cuprinsă pînă la un amplificator-sumator.

În funcție de particularitățile arătate în paragraful 3 ecuația de modelare a conicelor cu focar în origine (inclusiv curbele degenerate din acestea) capătă următoarele forme (fig. 5) :

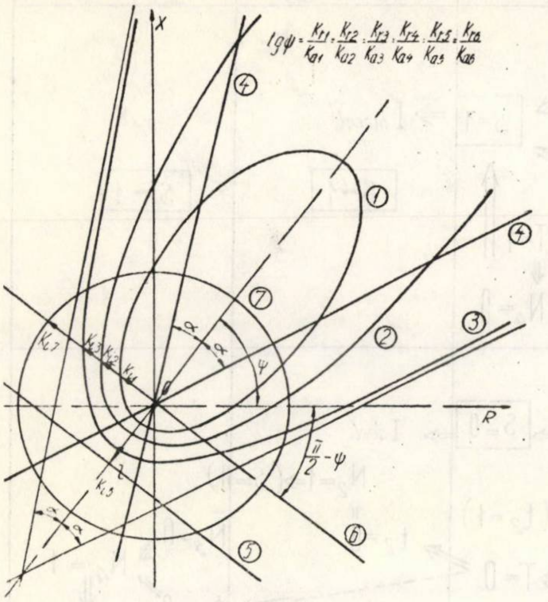


Fig. 5

*Elipsă*

$$U - K_a U_a - K_r U_r - K_i I = 0 \Rightarrow K_a + K_r^2 < 1 \qquad (21)_1$$

axă confundată cu axa $R$ ($\psi = 0$):

$$U - K_a U_a - K_i I = 0 \Rightarrow K_a < 1$$

sau cu axa $X \left(\psi = \frac{\pi}{2}\right)$:

$$U - K_r U_r - K_i I = 0 \Rightarrow K_r < 1$$

*Parabolă*

$$U - K_a U_a - K_r U_r - K_i I = 0 \Rightarrow K_a^2 + K_r^2 = 1, \qquad (21)_2$$

axă confundată cu axa $R$:

$$U - U_a - K_i I = 0$$

sau cu axa $X$:

$$U - U_r - K_i I = 0$$

*Hiperbolă*

$$U - K_a U_a - K_r U_r - K_i I = 0 \Rightarrow K_a^2 + K_r^2 > 1, \qquad (21)_3$$

axă confundată cu axa $R$:

$$U - K_a U_a - K_i I = 0 \Rightarrow K_a > 1$$

sau cu axa $X$:

$$U - K_r U_r - K_i I = 0 \Rightarrow K_r > 1$$

*Drepte concurente în origine*

$$U - K_a U_a - K_r U_r = 0 \Rightarrow K_a^2 + K_r^2 > 1, \qquad (21)_4$$

axă confundată cu axa $R$:

$$U - K_a U_a = 0 \Rightarrow K_a > 1$$

sau cu axa $X$:

$$U - K_r U_r = 0 \Rightarrow K_r > 1$$

*Cerc cu centrul în origine*

$$U - K_i I = 0 \qquad (21)_5$$

*Dreaptă oarecare*

$$K_a U_a + K_r U_r + K_i I = 0, \qquad (21)_6$$

paralelă cu axa $R$:

$$K_r U_r + K_i I = 0$$

sau cu axa $X$:

$$K_a U_a + K_i I = 0$$

*Dreaptă trecînd prin origine*

$$K_a U_a + K_r U_r = 0, \qquad (21)_7$$

confundată cu axa $R$:

$$U_r = 0$$

sau cu axa $X$:

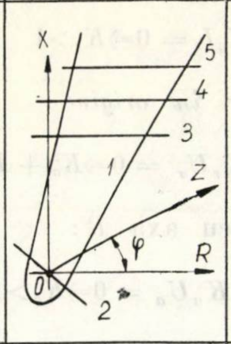
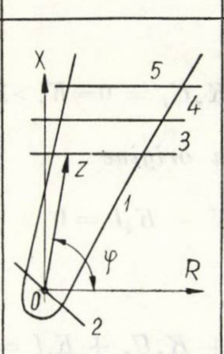
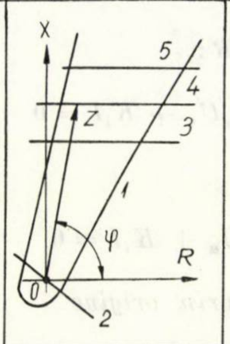
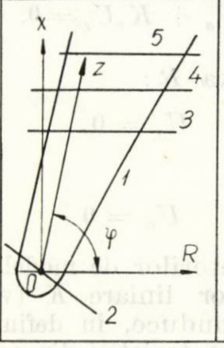
$$U_a = 0$$

Modificarea factorilor de modelare cu ajutorul subelementelor liniare $K$ (varierea unor potențiometre) conduce, în definitiv, la obținerea oricărei caracteristici din cele prezentate mai sus, așa cum se observă și din figura 5.

**Posibilitatea realizării unor protecții de distanță folosind conice cu focar în origine**

Numărul mare de caracteristici din familia conicelor cu focar în origine, modificabile ca tip, formă și poziție în planul impedanței,

*Tabelul 1*

| Regimul rețelei | | Poziția în plan a vectorului Z | FUNCȚIONAREA PROTECȚIEI: Amplif. | $Z_I (t = 0)$ | $Z_{II} (t_3 > t \geq t_2)$ | $Z_{III} (t \geq t_3)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Funcționare normală | |  | $\Sigma_1 = 1 \Rightarrow$<br>$\Sigma_2 = 0 \Rightarrow$<br>$\Sigma_3 = 0 \cup 1 \Rightarrow$<br>$\Sigma_4 = 0 \cup 1 \Rightarrow$<br>$\Sigma_5 = 0 \cup 1 \Rightarrow$ | $N_1 = 0$<br>$N_2 = 0$ ⇒ S=1<br>$N_3 = 0 \Rightarrow T = 1$<br>$\bar{N}_3 = 1 = N_4 = 0$ | ⇒ I blocat<br>S=1 | S=1 |
| SCURTCIRCUIT | Zona I |  | $\Sigma_1 = 0 \Rightarrow$<br>$\Sigma_2 = 0 \Rightarrow$<br>$\Sigma_3 = 0 \Rightarrow$<br>$\Sigma_4 = 0 \Rightarrow$<br>$\Sigma_5 = 0 \Rightarrow$ | $N_1 = 1 \Rightarrow$ S=0<br>$N_2 = 0\ (t_2 = 1)$<br>$N_3 = 1 \Rightarrow T = 0$<br>$N_4 = 0\ (t_3 = 1)$ | ⇒ I decl.<br>$N_2 = 1 \Rightarrow (S = 0)$<br>⇑<br>$t_2 = 0$ | $\bar{N}_3 = 0$<br>$t_3 = 0$<br>$N_4 = 1$<br>⇓<br>(S=0) |
| | Zona a II-a |  | $\Sigma_1 = 0 \Rightarrow$<br>$\Sigma_2 = 0 \Rightarrow$<br>$\Sigma_3 = 1 \Rightarrow$<br>$\Sigma_4 = 0 \Rightarrow$<br>$\Sigma_5 = 0 \Rightarrow$ | $N_1 = 0$<br>$N_2 = 0\ (t_2 = 1)$<br>$N_3 = 1 \Rightarrow T = 0$<br>$N_4 = 0\ (t_3 = 1)$ | $N_1 = 0$<br>$N_2 = 1 \Rightarrow$ S=0 ⇒ I decl.<br>⇑<br>$\Rightarrow t_2 = 0$ | $\bar{N}_3 = 0$<br>$t_3 = 0$<br>$N_4 = 1$<br>⇓<br>(S=0) |
| | Zona a III-a |  | $\Sigma_1 = 0 \Rightarrow$<br>$\Sigma_2 = 0 \Rightarrow$<br>$\Sigma_3 = 1 \Rightarrow$<br>$\Sigma_4 = 1 \Rightarrow$<br>$\Sigma_5 = 0 \Rightarrow$ | $N_1 = 0$<br>$N_2 = 0$<br>$N_3 = 1 \Rightarrow T = 0$ | $N_1 = 0$<br>$N_2 = 0$<br>$t_3 = 1 \Rightarrow N_4 = 0$ | $\bar{N}_1 = 0$<br>$N_2 = 0$<br>$t_3 = 0$<br>$\bar{N}_3 = 0$<br>$N_4 = 1$<br>⇓<br>S=0 ⇒ I decl. |

asigură obținerea unui număr, de asemenea foarte mare, de caracteristici combinate din cele elementare, folosind diverse combinații logice adecvate între ieșirile amplificatoarelor sumatoare ($\Sigma$) aferente unor caracteristici elementare.

Acest lucru este ilustrat prin exemplul de caracteristici combinate din tabelul 1, care folosind cinci caracteristici elementare permite realizarea unei protecții în trei trepte *) (zone). Schema structurală de protecție (pentru o fază) care asigură modelarea acestei caracte-

*) Se consideră că o bună acoperire a poligonului de defect este oportună prin folosirea unei caracteristici hiperbolice (1) de limitare în părțile laterale, a unei caracteristici de putere mixtă (2) și a trei caracteristici de reactanță (3, 4 și 5) — măsurare independentă de rezistențele de arc — care delimitează cele trei zone de protecție $Z_I$, $Z_{II}$ și $Z_{III}$.

ristici combinate este prezentată în figura 4. Mărimile analogice $U$, $U_a$, $U_r$ şi $I$, obţinute din mărimile primitive $U$ şi $I$ cu ajutorul subelementelor $L_u$, $X_a$, $D$, $X'$ şi $L_I$, sînt folosite pentru alimentarea amplificatoarelor operaţionale $\Sigma_1 \ldots \Sigma_5$ prin intermediul subelementelor liniare $K_{u1}, \ldots K_{a1} \ldots$ (de multiplicare cu o constantă).

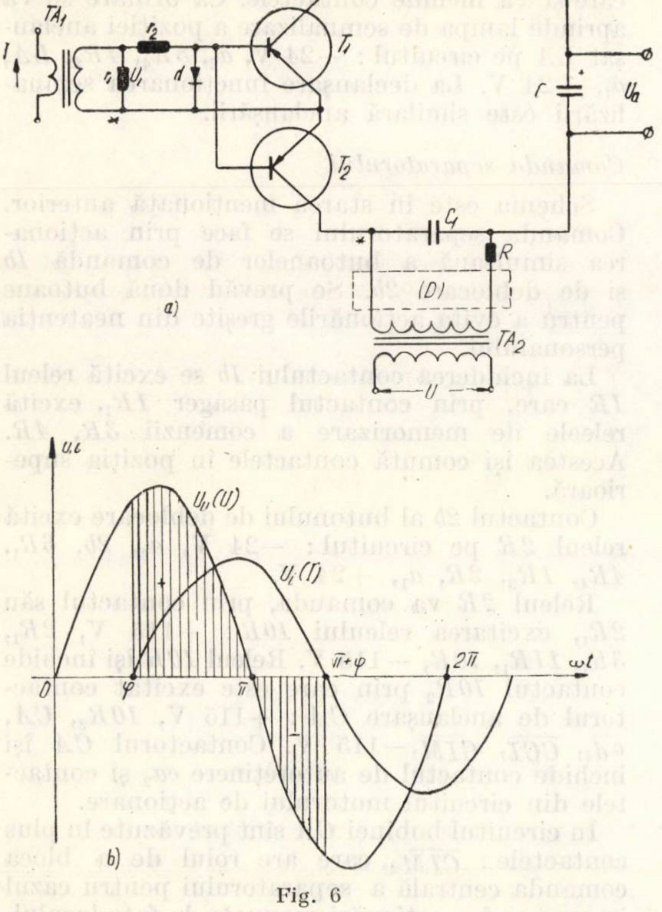



Fig. 6

Elementele constitutive ale schemei de protecţie se pot realiza în întregime cu semiconductoare, ceea ce conferă sistemului de protecţie o structură de calculator de proces analogo-logică [2]. Astfel:

— Elementele liniare ($L$) sînt realizate cu diode redresoare, monoalternanţă şi un circuit $RC$ de integrare.

— Elementele de multiplicare activă ($X_a$) pot fi realizate fie ca detectoare de fază cu diode („în inel") fie ca detectoare de fază cu tranzistoare. În acest ultim caz (fig. 6 *a*) tensiunea $U_i$ proporţională cu curentul măsurat $I$ fiind aplicată pe joncţiunea emitor-bază a unei chei cu tranzistoare ($T_1$ şi $T_2$) asigură deschiderea acestora în semiperioada pozitivă a curentului (fig. 6 *b*), interval în care tensiunea $U$ încarcă condensatorul $C$ prin circuitul integrator $RC$. Se demonstrează [2] că tensiunea obţinută la bornele capacităţii $C$ este proporţională cu $U_a$.

— Elementul defazor $D$ este de fapt o punte $RC$ care, producînd tensiunii un defazaj de 90°, asigură la ieşirea elementului $X'_a$ o tensiune proporţională cu $U_r$.

— Amplificatorul sumator detector de zero este un amplificator operaţional, cu tranzistoare cu ieşire simetrică, avînd la ieşire un circuit basculant (trigher Schmitt).

Condiţiei de funcţionare a protecţiei caracteristicilor elementare respective zonei de acţionare în planul impedanţei fiindu-i asociat simbolul logic $O$, rezultă condiţiile logice de acţionare în cele trei zone de protecţie:

$$Z_{\mathrm{I}} = 1 \cap 2 \cap 3 \qquad (22)_1$$

$$Z_{\mathrm{II}} = 1 \cap 2 \cap 4 \cap t_2 \qquad (22)_2$$

$$Z_{\mathrm{III}} = 1 \cap 2 \cap 5 \cap t_3 \qquad (22)_3$$

Acest lucru se realizează practic cu ajutorul unor elemente logice *ŞI* (de fapt elemente *NICI* cu tranzistoare) notate cu $N_1$, $N_2$, $N_3$ şi $N_4$, elementul de timp $T$ şi elementul logic *SAU* (tot *NICI*) notat cu $S$ (fig. 4).

Comportarea corectă a protecţiei în regim de funcţionare normală sau de scurtcircuit în cele trei zone se poate urmări în tabelul 1 simultan cu figura 4.


**Bibliografie**

[1] P o p e s c u, S. *Tipuri noi de protecţie de distanţă, tranzistorizate, cu caracteristici universale.* Teză de doctorat I.P.B., 1971.

[2] P e n e s c u, C. *Sisteme de protecţie de distanţă.* Editura Academiei R.S.R., Bucureşti, 1971.

[3] P e n e s c u, C. şi P o p e s c u, S. *Contribuţii la realizarea în ţară a releelor de distanţă tranzistorizate.* Ref. Sect. Autom. Sesiunea ştiinţifică a I.P.B., 1968.

[4] P e n e s c u, C. şi P o p e s c u, S. *Sistem de protecţie de distanţă tranzistorizat cu caracteristica universală (RDT—2).* Ref. Sect. Autom. Sesiunea ştiinţifică a I.P.B., 1970.

[5] P e n e s c u, C. *Un relais de distance à transistors avec caractéristique universelle.* CIGRE, rap. 327, 1964.

[6] P e n e s c u, C. şi C ă l i n, S. *Protecţia prin relee electronice a sistemelor electrice.* Editura tehnică, Bucureşti, 1969.



**(Articol intrat în redacţie la 5 august 1972)**

# Posibilități de îmbunătățire a unei scheme de semnalizare și comandă la distanță a separatoarelor din centralele și stațiile electrice, prin aplicarea algebrei logice

Dr. ing. L. Preda
și ing. E. Voinea*)

În prezent, la alcătuirea unei scheme de circuite secundare se pleacă de la condițiile pe care trebuie să le îndeplinească, în funcție de acestea prevăzîndu-se o serie de butoane, chei de comandă, relee, contactoare. Schemele astfel obținute au dezavantajul că, de cele mai multe ori, în special în cazul schemelor complexe, conțin un număr de relee și contacte mai mare decît cel strict necesar.

Procedînd astfel și uneori nețiînînd seama în mod riguros de interdependența tuturor elementelor ce urmează a fi comandate, se obțin scheme care provoacă greutăți în exploatare, în sensul că unele mici neatenții în executarea manevrelor pot duce la avarii importante.

Autorii și-au propus să analizeze o schemă de semnalizare și comandă utilizată în practică la separatoarele de 220 kV și, folosind algebra Boole, să sintetizeze o nouă schemă, mai simplă, care să respecte totuși condițiile de funcționare ale schemei inițiale.

**Funcționarea schemei de semnalizare și comandă** (fig. 1)

*Semnalizarea de poziție*

Schema este reprezentată în stare normală, adică în cazul separatorului declanșat. În această stare sînt închise bloc-contactele separatorului : $\overline{PS_R}$, $\overline{PS_S}$, $\overline{PS_T}$, care excită releul de repetare a poziției declanșat *8R*. Releul *8R* își închide contactul $8R_1$ prin care excită releul intermediar *6R*. Contactele normal deschise ale releului *6R* vor fi închise și lampa de semnalizare a poziției declanșat *LD* este aprinsă pe circuitul : −24 V, $a_2$, $6R_3$, $4R_1$, *LD*, $a_1$, + 24 V.

Cînd se dă o comandă de anclanșare a separatorului se acționează butoanele *1b* și *2b*. Închizîndu-se contactul *1b* al butonului de comandă se excită releul *1R* care, prin contactul său pasager $1R_1$, excită releele de memorie *3R* și *4R*. Aceste relee își comută contactele din poziția inferioară în cea superioară. Ca urmare lampa *LD* va fi alimentată pe circuitul : −24 V*p*, $a_5$, $9R_1$, $a_2$, $6R_4$, $4R_1$, *LD*, $a_1$, + 24V și va arde cu lumină intermitentă, semnalizînd faptul că s-a transmis comanda de anclanșare.

După ce separatorul a anclanșat se comută bloc-contactele sale : $PS_R$, $PS_S$, $PS_T$, se închid și excită releul de repetare a poziției anclanșat *7R*, iar $\overline{PS_R}$, $\overline{PS_S}$, $\overline{PS_T}$ se deschid, dezexcitînd releul *8R*. Releul *7R* va comanda prin contactul $7R_1$ excitarea releului intermediar *5R* care-și va închide contactele. Ca urmare se va aprinde lampa de semnalizare a poziției anclanșat *LA* pe circuitul : −24 V, $a_2$, $5R_4$, $4R_2$, *LA*, $a_1$, +24 V. La declanșare funcționarea semnalizării este similară anclanșării.

*Comanda separatorului*

Schema este în starea menționată anterior. Comanda separatorului se face prin acționarea simultană a butoanelor de comandă *1b* și de deblocare *2b*. Se prevăd două butoane pentru a evita acționările greșite din neatenția personalului.

La închiderea contactului *1b* se excită releul *1R* care, prin contactul pasager $1R_1$, excită releele de memorizare a comenzii *3R*, *4R*. Acestea își comută contactele în poziția superioară.

Contactul *2b* al butonului de deblocare excită releul *2R* pe circuitul : −24 V, $a_4$, *2b*, $6R_1$, $4R_4$, $1R_3$, *2R*, $a_1$, +24 V.

Releul *2R* va comanda, prin contactul său $2R_1$, excitarea releului *10R* : +115 V, $2R_1$, $3R_1$, $11R_1$, *10R*, −115 V. Releul *10R* își închide contactul $10R_2$ prin care este excitat contactorul de anclanșare *CA* : +115 V, $10R_2$, *CA*, $c_{d1}$, $\overline{CCI}$, $\overline{CIM}$, −115 V. Contactorul *CA* își închide contactul de autoreținere $ca_2$ și contactele din circuitul motorului de acționare.

În circuitul bobinei *CA* sînt prevăzute în plus contactele : $\overline{CIM_2}$, care are rolul de a bloca comanda centrală a separatorului pentru cazul în care se fac acționări manuale, la fața locului, a acestuia, și $\overline{CCI}$ — un contact de limitare a cursei de închidere care se deschide la terminarea anclanșării, dezexcitîndu-l pe *CA*, care-și va deschide contactele pentru a opri motorul de acționare. Odată cu deschiderea lui $\overline{CCI}$ se închide contactul de limitare a cursei de deschidere *CCD*, din circuitul bobinei contactorului de declanșare, pregătindu-l pentru comanda de declanșare.

Funcționarea schemei de comandă la declanșare este similară anclanșării.

**Sinteza schemei de semnalizare și comandă**

*Schema de semnalizare*

Se va face sinteza schemei de semnalizare a declanșării urmînd ca, prin analogie, să se obțină și schema de semnalizare a anclanșării.

Din analiza schemei de semnalizare a declanșării rezultă următoarele condiții :

a) dacă separatorul a fost declanșat în urma unei comenzi centrale, lampa *LD* trebuie să ardă cu lumină continuă ;

*) Laurian Preda este conferențiar la catedra de Electroenergetică a Facultății de Electrotehnică din Iași ; Eugen Voinea este asistent la aceeași catedră.

b) dacă separatorul a fost declanşat în urma unei comenzi diferită de cea centrală, lampa *LD* trebuie să ardă cu lumină intermitentă;

e) după ce operaţia de anclanşare s-a efectuat, lampa *LD* trebuie să se stingă.

Din condiţiile *a*, *e* rezultă schema dipolului de comandă a lămpii *LD* cu lumină continuă.

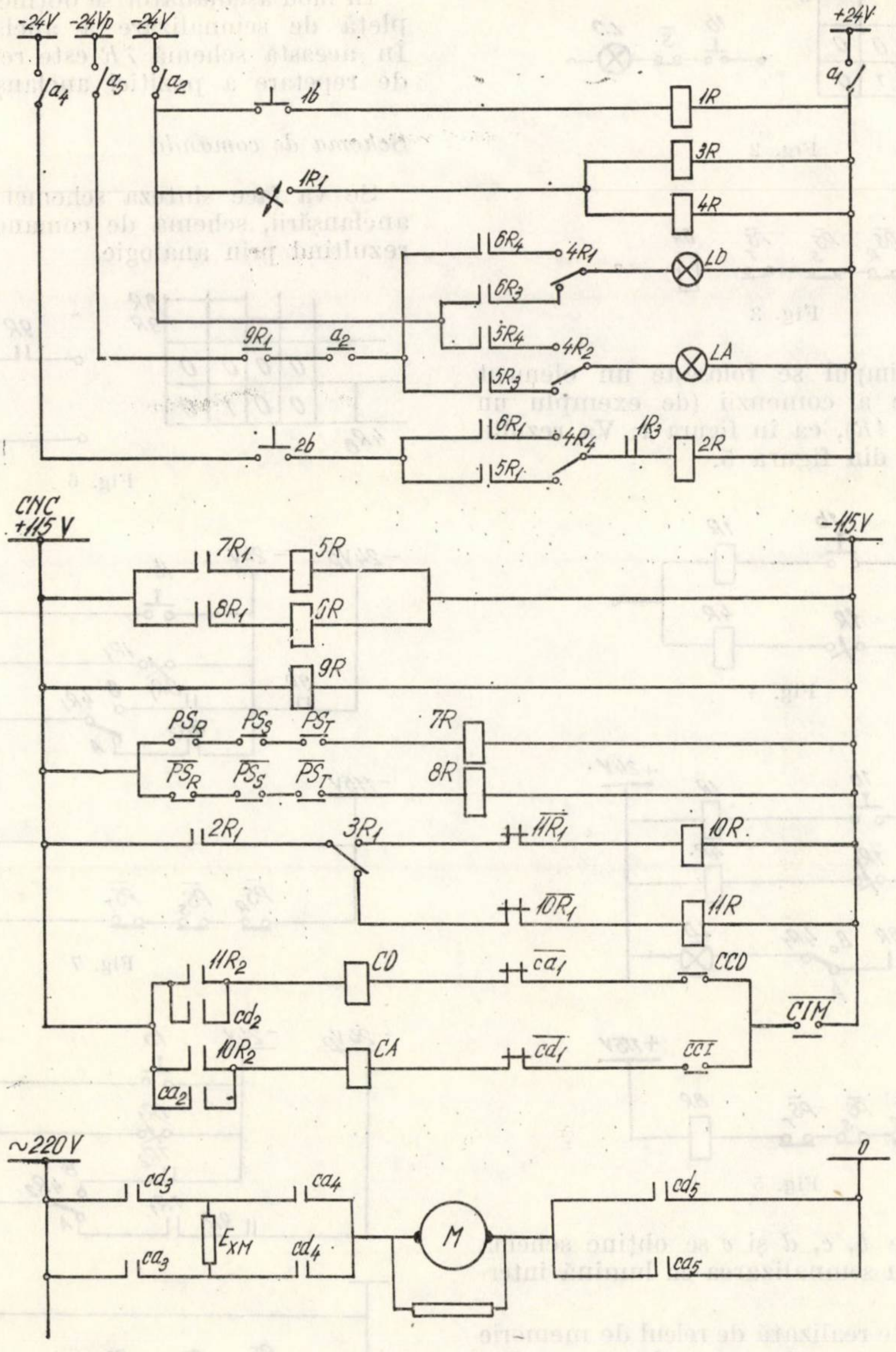



Fig. 1

c) în timpul efectuării unei comenzi de anclanşare, lampa *LD* trebuie să ardă cu lumină intermitentă;

d) dacă în timpul efectuării comenzii de anclanşare cade tensiunea de 115 V din schema de comandă, lampa *LD* trebuie să se stingă;

Lampa *LD* va fi funcţie de butonul de comandă *1b* şi separatorul *S* : $LD = f\ (1b, S)$. Din diagrama de combinaţii rezultă : $LD = 1b \cdot \bar{S}$ şi o primă schemă (fig. 2).

Se preferă ca în locul bloc-contactului separatorului să se folosească un releu intermediar

de repetare a poziţiei declanşat *8R* legat ca în figura 3. În circuitul bobinei *8R* apar bloc-contactele celor trei separatoare monopolare. De asemenea, pentru ca butonul *1b* să nu fie

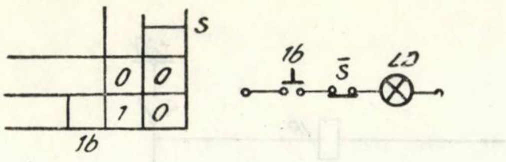



Fig. 2

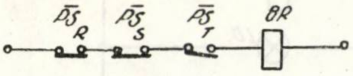



Fig. 3

acţionat tot timpul se foloseşte un element de memorizare a comenzii (de exemplu un releu polarizat *4R*), ca în figura 4. Va rezulta atunci schema din figura 5.

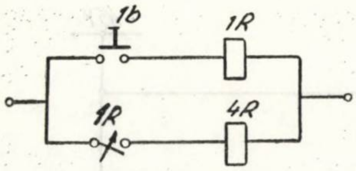



Fig. 4

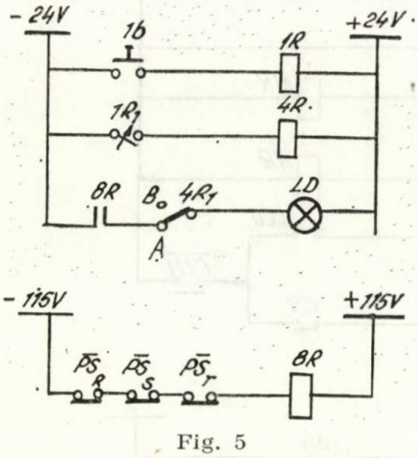



Fig. 5

Din condiţiile *b*, *c*, *d* şi *e* se obţine schema dipolului pentru semnalizarea cu lumină intermitentă.

Condiţia *b* este realizată de releul de memorie *4R*, care îşi păstrează contactele pe poziţia anterioară (corespunzătoare comenzii de anclanşare). Condiţia *c* se traduce prin comutarea contactelor releului *4R* din poziţia *A* în *B*. Controlul tensiunii de 115 V este făcut de releul *9R*. Atunci funcţia dipolului de comandă a lămpii *LD* cu lumină intermitentă va fi: $LD = f\ (4R_B,\ 8R,\ 9R)$. Corespunzător condiţiilor enunţate rezultă diagrama de combinaţii, din care se obţine: $LD = 4R_B \cdot 8R \cdot 9R$ (fig. 6).

Cumulînd schemele din figurile 5 şi 6 rezultă schema completă de semnalizare a declanşării (fig. 7).

În mod asemănător se obţine şi schema completă de semnalizare a anclanşării (fig. 8). În această schemă *7R* este releul intermediar de repetare a poziţiei anclanşat.

*Schema de comandă*

Se va face sinteza schemei de comandă a anclanşării, schema de comandă a declanşării rezultînd prin analogie.

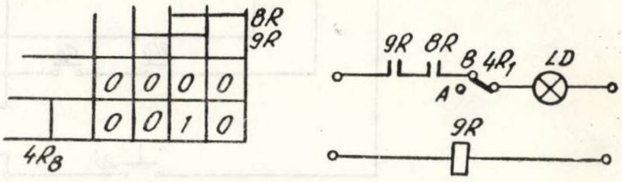



Fig. 6

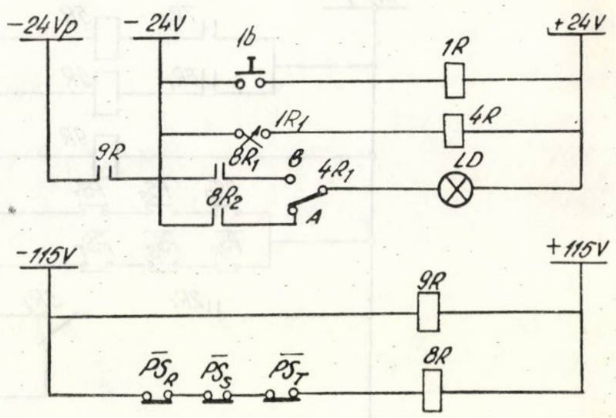



Fig. 7

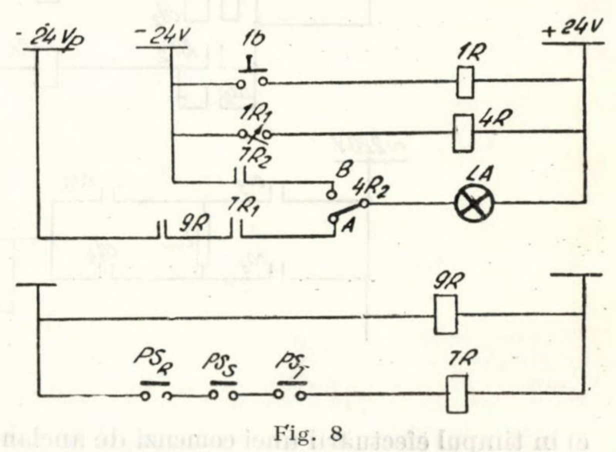



Fig. 8

Din analiza schemei de comandă a anclanşării rezultă următoarele condiţii:

a) comanda de anclanşare să se dea prin două butoane (*1b*, *2b*) acţionate simultan;

b) butonul *2b* să nu poată face comanda dacă nu este acţionat şi *1b*;

c) bobina contactorului de anclanşare *CA* să nu poată fi alimentată decît dacă contactorul de declanşare *CD* nu este alimentat (interblocare reciprocă);

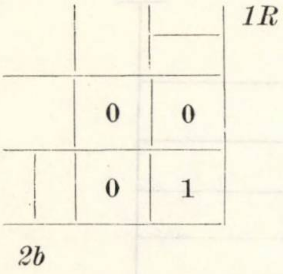
d) bobina contactorului de anclanşare să se autoreţină indiferent de starea butoanelor *1b* şi *2b*;

e) la terminarea anclanşării, bobina contactorului *CA* să fie dezexcitată.

Condiţia *a*) se traduce prin includerea în dipolul de comandă a contactorului de anclanşare *CA* a contactelor celor două butoane *1b* şi *2b*. Fiind necesară şi în acest caz multiplicarea numărului de contacte, butoanele *1b* şi *2b* vor comanda indirect contactorul, prin relee intermediare. Pentru butonul *1b* se va folosi acelaşi releu de memorie de la schema de semnalizare. Butonul *2b* va acţiona asupra releului intermediar *2R*.

Condiţia *b*) conduce la următorul dipol al releului *2R*:

$2R = f\ (2b,\ 1R)$




$2R = 2b \cdot 1R$

Se va obţine schema din figura 9.

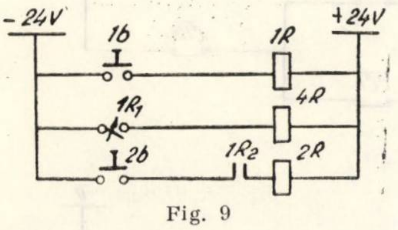



Fig. 9

Reluînd acum cele cinci condiţii, dipolul de comandă a contactorului va fi: $CA = f\ (4R,\ 2R,\ CD,\ CCI,\ CA)$. Funcţia f are valoarea 1 (deci conduce) pentru următoarele grupe de variabile independente:

$f\ (1,\ 1,\ 0,\ 0,\ 0) = 1$ — *CA* să se excite la acţionarea simultană a butoanelor;

$f\ (1,\ 1,\ 0,\ 1,\ 0) = 1$
$f\ (0,\ 1,\ 0,\ 1,\ 0) = 1$
$f\ (1,\ 0,\ 0,\ 1,\ 0) = 1$
$f\ (0,\ 0,\ 0,\ 1,\ 0) = 1$
} *CA* să se autoreţină indiferent de starea butoanelor de comandă.

Va rezulta diagrama de combinaţii din care se obţine: $CA = 4R \cdot 2R \cdot \overline{CD} \cdot \overline{CCI} \cup \overline{2R} \cdot \overline{CD} \cdot \overline{CCI} \cdot CA \cup 2R \cdot \overline{CD} \cdot \overline{CCI} \cdot CA = \overline{CD} \cdot \overline{CCI}\,(4R \cdot 2R \cup CA)$, care conduce la schema din figura 10'.

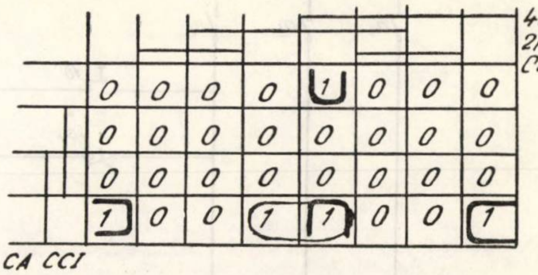



Fig. 10

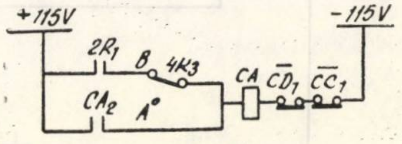



Fig. 10'

Dacă puterea contactelor *2R*, *4R* este insuficientă, atunci se introduce un releu intermediar comandat de aceste contacte. Ţinînd seama şi de figura 9 se obţine schema de comandă a anclanşării din figura 11.

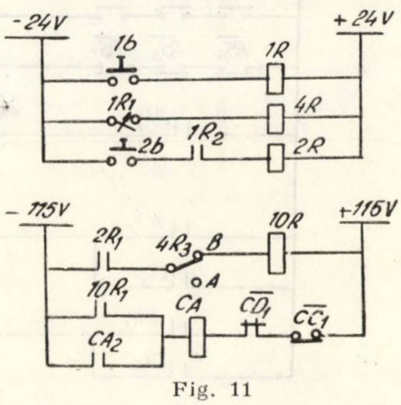



Fig. 11

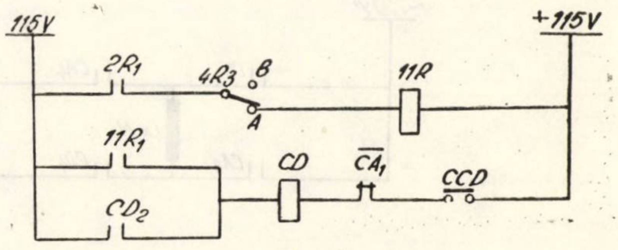



Fig. 12

Similar se obţine şi schema de comandă a declanşării, de data aceasta folosindu-se releul *11R* ca releu intermediar. Faţă de schema de comandă a anclanşării este deosebită numai partea de la 115 V (fig. 12).

Reunind schemele din figurile 7, 8, 11 şi 12 se obţine schema completă de semnalizare şi comandă a separatorului (fig. 13).

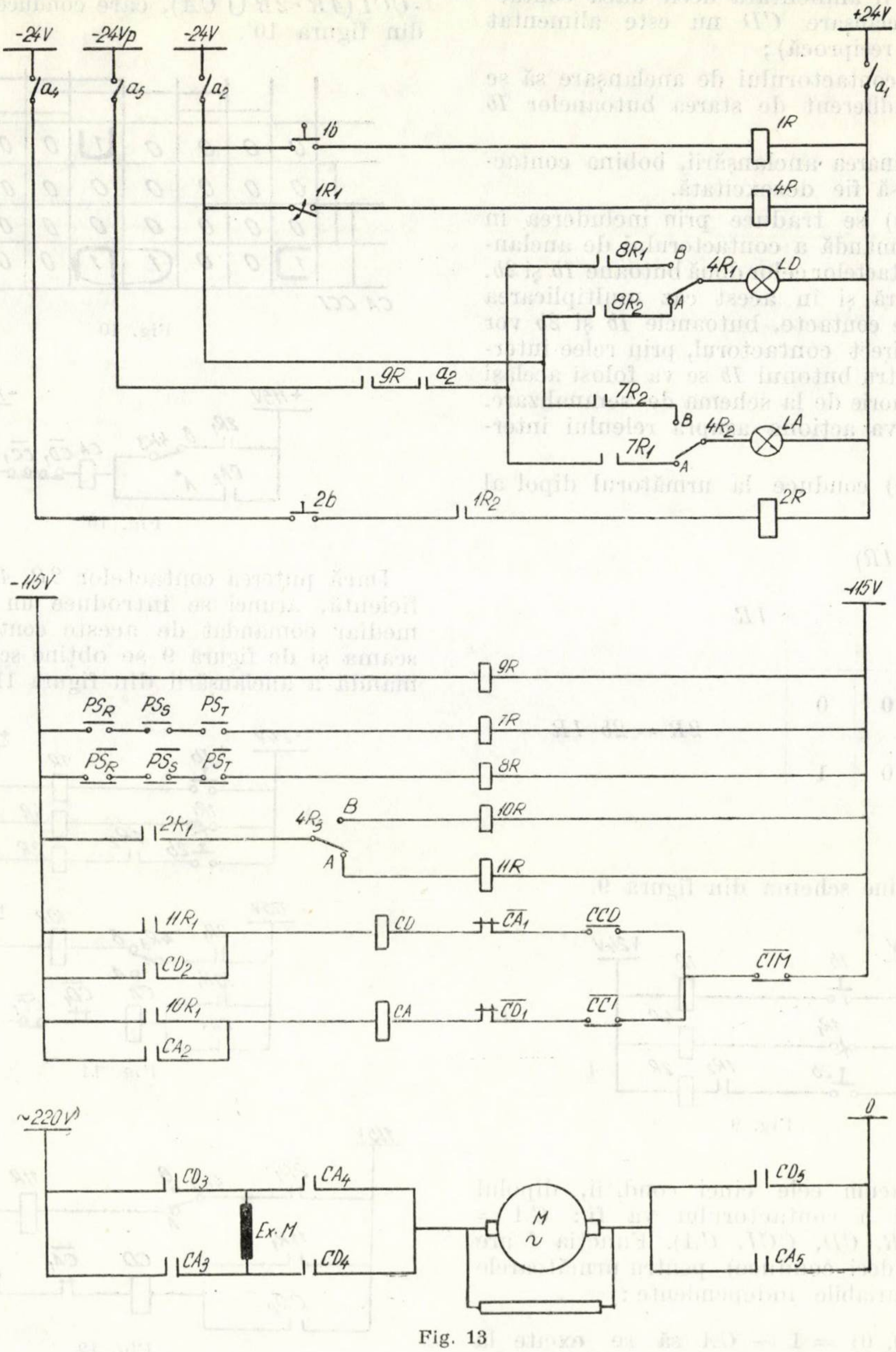



Fig. 13

**Funcţionarea schemei noi; comparaţie cu schema iniţială**

*Semnalizarea de poziţie a separatorului*

Şi în acest caz se va discuta semnalizarea declanşării. Dacă separatorul este declanşat, atunci sînt închise bloc-contactele $\overline{PS_R}$, $\overline{PS_S}$, $\overline{PS_T}$ şi este excitat releul $8R$. Acesta îşi închide contactele $8R_1$ şi $8R_2$ din circuitul lămpii de declanşare; contactul releului de memorie $4R$ fiind pe poziţia $A$, lampa $LD$ arde cu lumină continuă. În raport cu schema iniţială se observă lipsa releului intermediar $6R$, care s-a dovedit inutil; acest releu, fiind o verigă intermediară

în plus, poate constitui o sursă de defecte în funcţionarea schemei.

La transmiterea unei comenzi de anclanşare este acţionat butonul *1b* care, prin intermediul releului *1R* cu contact pasager, excită releul de memorie *4R*, care-şi comută contactele din poziţia *A* în *B*. Ca urmare, dacă există şi tensiunea de 115 V (releul *9R* excitat), lampa *LD* va arde cu lumină intermitentă. La terminarea anclanşării bloc-contactele separatorului îşi schimbă poziţia ($\overline{PS_R}$, $\overline{PS_S}$, $\overline{PS_T}$ se deschid, iar $PS_R$, $PS_S$, $PS_T$ se închid). Releul *8R* va fi dezexcitat şi lampa *LD* se va stinge ; se excită releul *7R* care va comanda aprinderea lămpii *LA* cu lumină continuă.

Comparînd funcţionarea schemei de semnalizare obţinută cu cea veche se observă că ea nu s-a modificat, deşi schema nouă este mai simplă.

*Comanda separatorului*

Dacă separatorul este declanşat, la acţionarea butoanelor de comandă (*1b*) şi de deblocare (*2b*) va începe anclanşarea separatorului. Butonul *1b* acţionat va excita releul *1R*. Acesta îşi închide contactul pasager $1R_1$ prin care excită releul de memorie *4R*, ce îşi comută contactele din *A* în *B*. Simultan cu contactul $1R_1$ se închide şi $1R_2$, care va permite excitarea releului *2R* la închiderea butonului *2b*. Releul *2R* îşi închide contactul $2R_1$ şi este excitat releul *10R* (contactul releului *4R* s-a comutat în poziţia *B*). Releul *10R* îşi închide contactul $10R_1$ din circuitul contactorului de anclanşare şi, dacă sînt îndeplinite celelalte condiţii (contactorul de declanşare dezexcitat, contactul de limitare a cursei de închidere închis), acesta este excitat. Contactorul *CA* îşi va închide contactul de autoreţinere $CA_1$ şi contactele de alimentare a motorului. Cînd anclanşarea s-a terminat se deschide contactul $\overline{CCI}$ care dezexcită contactorul *CA*, deci se opreşte şi motorul.

Comparînd şi în acest caz schema nouă cu cea veche se observă că aceasta realizează întocmai aceleaşi condiţii ca şi prima. Se mai constată că a fost eliminat releul *3R*, care nu mai era necesar, precum şi un număr de contacte.

Se menţionează că după stabilirea numărului minim de elemente în anumite scheme de importanţă deosebită pentru instalaţii trebuie analizată necesitatea siguranţei sporite în funcţionare, care poate conduce în unele cazuri la mărirea numărului de elemente.

**Concluzii**

— S-a aplicat algebra logică la sinteza unei scheme de semnalizare şi comandă la distanţă pentru un separator.

— S-a obţinut o schemă nouă, care îndeplineşte aceleaşi condiţii ca şi schema existentă. Schema obţinută este mai ieftină (s-a redus numărul releelor de la 11 la 8 şi numărul contactelor de la 30 la 23) şi mai simplă.

— Prin reducerea numărului de relee şi contacte s-a mărit siguranţa în funcţionarea schemei, ştiut fiind că releele şi contactele lor sînt surse de defecţiuni.

**Bibliografie**


[1] Balaban, E. Teză de doctorat, Iaşi, 1968.

[2] Bloh, A. S. *Sintez perecliucitelnîh shem.* Minsk, 1966.

[3] Boţan, N. V. şi Balaban, E. *Sur quelques possibilités d'utilisation de l'algèbre logique aux schémas de commande électrique.* În : Buletinul I.P., Iaşi, Tom XI, 1965.

[4] Castello, P. *Clé des schémas électriques.* Dunod Paris, 1965.

[5] Moisil, Gr. *Teoria algebrică a mecanismelor automate.* 1960.

[6] Moisil, Gr. *Teoria algebrică a schemelor cu contacte şi relee.* 1965.

[7] Naslin, P. *Circuite logice şi automatizări secvenţiale.* Bucureşti, 1967.

[8] Tîrnoveanu, M. *Elemente de logică matematică* Bucureşti, 1964.

[9] Balaban, E., Irhaşiu, M., Boţan, C. şi Bordea, D. *Studiu privind îmbunătăţirea schemei d-comandă pentru acţionarea unei maşini-unelte.* În : Electroe tehnica, nr. 2 1968.

[10] Porţeanu, M. *Determinarea posibilităţilor defuncţionare a circuitelor de comutaţie cu ajutorulfuncţiilor şi matricelor booleene.* În : Energetica, nr. 3, 1967.


**(Articol intrat în redacţie la 8 aprilie 1972)**

# Optimizarea parametrilor de funcționare la instalațiile industriale de aer comprimat

Dr. ing. E. Lăzărescu,
ing. A. Simionescu,
ing. V. Popîrda,
ing. Z. Murgu
și ing. Al. Bârjoianu*)

În stadiul actual al dezvoltării industriilor din țara noastră, echiparea cu aer comprimat a rezultat fie din necesitatea furnizării aerului comprimat tehnic pentru instalații de automatizare, măsură și control, fie din necesitatea de a satisface condițiile de perfecționare a proceselor tehnologice. În consecință, volumul anual al investițiilor destinate satisfacerii necesităților sus-amintite va fi crescut pentru o lungă perioadă de timp. Din această cauză este foarte important ca aceste investiții să fie realizate astfel încît costul anual al exploatării să fie minim. Deși, în general, în fabricile noi costul conductelor de aer comprimat are o valoare relativ scăzută, aceste investiții totalizează pe întreaga economie fonduri importante, precum și un consum destul de mare de materiale feroase.

În ceea ce privește costul anual al energiei electrice consumate pentru producerea aerului comprimat, se constată că acesta prezintă o importanță deosebită. Există numeroase exemple de unități industriale în care consumul de energie electrică în instalațiile de aer comprimat, precum și în cele de frig, variază de la a treia parte pînă la jumătate din consumul total de energie al întreprinderii.

## Criterii uzuale aplicate în prezent

Instalațiile de aer comprimat sînt proiectate astăzi fără a se face un calcul riguros economic al vitezelor, adoptîndu-se valori recomandate în unele tratate de specialitate. Aceste valori sînt cuprinse în limite foarte largi, după cum reiese din exemplele următoare :

— G. A. Maximov [1] recomandă ca viteza aerului în instalațiile industriale să aibă valori cuprinse între 4 și 12 m/s.

— V. V. Baturin [2] consideră viteza de 8—10 m/s în conductele principale de aer, iar în conductele speciale admite valori și mai mari.

— A. J. Orlov [3] admite pentru clădirile industriale viteze ale aerului cuprinse între 8 și 12 m/s.

*) Emil Lăzărescu este șef de lucrări la catedra de termotehnică a Institutului de marină din Constanța; ceilalți autori lucrează la Centrul de cercetări tehnice și fizice din Iași.

Adoptarea vitezelor pe baza acestor recomandări este în momentul de față insuficientă, deoarece factorii care influențează viteza economică variază în limite destul de largi, iar în cele mai multe cazuri vitezele astfel adoptate în conductele de aer sînt foarte departe de valoarea economică.

În multe cazuri o verificare a costului anual al producerii aerului comprimat arată că vitezele adoptate după recomandările existente implică un cost anual al aerului comprimat ce reprezintă de două sau chiar de trei ori valoarea optimă. Cauza care a dus la studierea acestei probleme a fost constatarea că vitezele adoptate pentru conductele de aer la unele proiecte executate diferă mult față de valoarea optimă.

Lucrarea de față își propune să determine vitezele economice pentru conductele de aer comprimat pentru a nu avea pierderi anuale prea mari și în același timp pentru a realiza un preț de cost cît mai redus pentru aerul comprimat tehnologic. Obiectivul principal urmărit este de a pune la îndemîna proiectanților criterii ușor de aplicat, care să dea pentru viteza economică în conductele de aer comprimat valori practic valabile.

În mod curent, după ce se va stabili viteza economică și se va proiecta printr-un calcul preliminar rețeaua de aer comprimat, se poate alege tipul de compresor cel mai adecvat obținerii parametrilor optimi, în întreaga instalație de aer comprimat. În calculul definitiv se vor modifica vitezele, astfel încît căderea de presiune în rețea să corespundă cu presiunea furnizată de compresorul respectiv la un randament optim.

## Determinarea vitezelor economice în conductele de aer comprimat

Costul anual al aerului comprimat, $C$, în unitățile industriale cuprinde doi termeni care depind de viteză, conform relației [1] :

$$C = C_e + C_a = f(v), \qquad (1)$$

în care

$C_e$ este costul anual al energiei electrice;

$C_a$ — amortizarea anuală a investițiilor făcute în instalațiile de aer comprimat.

Calculul expresiei lui $C_e$ se face cu ajutorul relației :

$$C_e = \frac{C_0 \cdot Q \cdot \Delta p \cdot \tau \cdot \gamma}{102 \cdot \eta_t} \qquad (2)$$

în care

$C_0$ este prețul de cost al energiei electrice, lei/kWh ;

$Q$ — debitul de aer în rețeaua exterioară de aer, m³/s;

$\Delta p$ — căderea de presiune corespunzătoare la 100 m conductă, kgf/cm²;

$\tau$ — numărul anual de ore de funcționare a instalației de aer comprimat;

$\gamma$ — greutatea specifică a aerului, kgf/m³;

$\eta_t$ — randamentul total al instalației de aer comprimat.

Din literatura de specialitate [4] se cunoaște expresia lui $\Delta p$:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \frac{\gamma}{2\,g}\left[\lambda \frac{l}{d} + \Sigma\, \xi\right] v^2, \quad (3)$$

în care

$\lambda$ este coeficientul de rezistență la frecare;

$l$ — lungimea conductei de aer, m;

$d$ — diametrul conductei, m;

$v$ — viteza aerului în conductă, m/s;

$\gamma$ — greutatea specifică a aerului, kgf/m³;

$g$ — accelerația gravității, m/s;

$\Sigma\xi$ — suma rezistențelor locale pentru 100 m de conductă.

Viteza aerului este dată de relația:

$$v = \frac{Q}{s} \text{ sau } v = \frac{Q}{\pi d^2},$$

în care

$Q$ este debitul, m³/s;

$s$ — secțiunea conductei, m²,

de unde

$$d = 2\,Q^{\frac{1}{2}} \cdot \pi^{-\frac{1}{2}} \cdot v^{-\frac{1}{2}} \quad (4)$$

iar

$$\Delta p = \frac{\gamma}{2\,g}\left[\lambda \frac{L}{d} + \Sigma\xi\right] \cdot v^2 \neq \frac{\lambda L}{4 g \pi^{-\frac{1}{2}}\, Q^{\frac{1}{2}}}\, v^{5/2} +$$

$$+ \Sigma\xi \frac{\gamma}{2\,g} \cdot v^2. \quad (5)$$

Ținînd seama de relațiile (2) și (5), se poate scrie:

$$C_e = v^{\frac{5}{2}} \cdot \frac{C_0 \cdot Q^{\frac{1}{2}} \cdot \tau \cdot \lambda \cdot 100}{408\, \eta_t \cdot g} + v^2 \frac{C_0 \cdot Q \cdot \tau \cdot \gamma \cdot \Sigma\xi}{102 \cdot \eta_t \cdot g},$$

în care se notează

$$\frac{C_0 \cdot Q^{\frac{1}{2}} \cdot \tau \cdot \lambda \cdot 100}{408\, \eta_t \cdot g} = K_1 \quad (6)$$

$$\frac{C_0 \cdot Q \cdot \tau \cdot \gamma \cdot \Sigma\xi}{102 \cdot \eta_t \cdot g} = K_2 \quad (7)$$

În acest caz

$$C_e = K_1 \cdot v^{\frac{5}{2}} + K_2 \cdot v^2. \quad (8)$$

**Calculul experimental al expresiei $C_a$, amortizarea anuală a investițiilor**

Amortizarea anuală a investițiilor se calculează cu ajutorul expresiei:

$$C_a = C_a' + C_a'' + C_a''', \quad (9)$$

în care

$C_a'$ este amortizarea anuală a conductelor de aer comprimat;

$C_a''$ — amortizarea anuală a costului estacadelor și a spațiului construit ocupat de conductele de aer;

$C_a'''$ — amortizarea anuală a instalațiilor din stația de compresoare.

Variația termenului $C_a'''$ în raport cu viteza este în general neglijabilă. Eroarea ce se introduce în calcule prin neglijarea lui $C_a'''$ nu este prea importantă; acest termen trebuie luat în considerație în calcule numai în cazul conductelor scurte și cu rezistențe locale mari.

Amortizarea anuală a conductelor se calculează cu ajutorul relației:

$$C_a' = C_a^* \cdot \pi \cdot 100 \cdot L, \quad (10)$$

în care $C_a^*$ este amortizarea anuală a unui metru pătrat de conductă, lei/m² · an.

Ținînd seama de relația (4), rezultă expresia:

$$C_a' = 2 \cdot 100 \cdot \pi \cdot C_a^* \cdot Q^{\frac{1}{2}} \cdot \pi^{\frac{1}{2}} \cdot v^{-\frac{1}{2}}. \quad (11)$$

Dacă se notează

$$200\, \pi^{\frac{3}{2}} \cdot C_a^* \cdot Q^{\frac{1}{2}} = K_3, \quad (12)$$

atunci

$$C_a' = K_3 \cdot v^{-\frac{1}{2}}. \quad (13)$$

Amortizarea anuală $C_a''$ a spațiului construit ocupat de conductele de aer (estacade etc.) se calculează cu ajutorul relației [5]:

$$C_a'' = \alpha \cdot C_a^{**} \cdot 100\, d^2, \quad (14)$$

în care

$C_a^{**}$ este amortizarea anuală a unui metru cub de spațiu construit necesar amplasării conductei de aer;

100 d² — volumul ocupat de 100 m de conductă de aer;

$\alpha$ — coeficient ce ține seama de modul de amplasare a conductelor. Acolo unde prezența conductelor nu aduce complicații constructive, $\alpha = 1$. Aprecierea lui $\alpha$ necesită o deosebită atenție.

Ținînd seamă de relația (4), se poate scrie :

$$C_a''' = 400 \cdot \pi^{-1} \cdot \alpha \cdot C_a^{**} \cdot Q \cdot v^{-1} = K_4 \cdot v^{-1}, \quad (15)$$

în care

$$K_4 = 400 \cdot \pi^{-1} \cdot \alpha \cdot C_a^{**} \cdot Q. \quad (16)$$

Dacă se neglijează $C_a'''$, se poate scrie :

$$C_a = C_a' + C_a''' = K_3 \cdot v^{-\frac{1}{2}} + K_4 \cdot v^{-1}, \quad (17)$$

expresia generală pentru costul anual al aerului comprimat fiind :

$$C = K_1 \cdot v^{\frac{5}{2}} + K_2 \cdot v^2 + K_3 \cdot v^{-\frac{1}{2}} + K_4 \cdot v^{-1} \quad (18)$$

în care $K_1$, $K_2$, $K_3$ și $K_4$ sînt constante ale căror valori se pot calcula cu ajutorul relațiilor (6), (7), (12) și (15).

## Determinarea expresiei pentru calculul vitezei optime în conductele de aer

În cazul conductelor de aer la care pierderile de presiune datorate rezistențelor locale sînt neimportante, se poate neglija termenul $K_2 \cdot v^2$

La conductele de aer cu diametrul mai mic de 500 mm se poate neglija și termenul $K_4 \cdot v^{-1}$. În acest caz, expresia generală privind costul aerului comprimat $C$ devine :

$$C = K_1 \cdot v^{\frac{5}{2}} + K_3 \cdot v^{-\frac{1}{2}}. \quad (19)$$

Derivînd ecuația (19), se obține :

$$\frac{dC}{dv} = \frac{5}{2} \cdot K_1 \cdot v^{\frac{3}{2}} - \frac{1}{2} K_3 \cdot v^{\frac{3}{2}}. \quad (20)$$

Pentru a efectua derivata expresiei lui $C$ în acest fel, s-a considerat $K_1$ = constantă în raport cu $v$, ceea ce conduce la un coeficient de frecare al aerului $\lambda$ = constant, în raport cu viteza, atunci cînd debitul se menține același. Această ipoteză nu este riguros exactă și consecințele ei practice vor fi analizate în continuare.

Se menționează totuși faptul că variația lui $\lambda$ — coeficientul de frecare al aerului — în raport cu viteza este atît de mică, încît erorile de calcul ce decurg din admiterea acestei ipoteze sînt practic neglijabile.

Pentru a se determina viteza optimă $v_0$ care să conducă la un preț de cost minim al aerului comprimat, adică la o valoare minimă pentru care relația $C = f(v)$, trebuie anulată derivata acestei funcții :

$$\frac{dC}{dv} = 0 \text{ sau : } \frac{5}{2} K_1 \cdot v^{\frac{3}{2}} - \frac{1}{2} \cdot K_3 \cdot v^{-\frac{3}{2}},$$

de unde se poate obține relația :

$$v_0 = \sqrt[3]{\frac{K_3}{5K_1}}, \quad (21)$$

sau, avînd în vedere relațiile (6) și (12), în care se iau $g = 9{,}81$ m/s² și $\gamma = 1{,}2$ kgf/m³, se obține relația :

$$v_0 = 11{,}7 \sqrt[3]{\eta_t \frac{C_a'}{\tau \cdot \lambda \cdot C_0}}. \quad (22)$$

Din examinarea acestei relații se remarcă faptul că viteza optimă este independentă de debit.

## Diagramele obținute prin calcule. Observații critice asupra relațiilor de calcul stabilite

În diagramele prezentate în figurile 1, 2, 3 și 4, curba $C_a = C_a' + C_a'' = f(v)$ reprezintă variația amortizării anuale pentru 100 m conductă din tablă cu diametrul $D_n = 500$ mm, la prețul curent. S-a considerat amortizarea legală actuală pe timp de 1 an pentru conductele de aer, adică 6,7% din prețul de cost la o durată totală de amortizare a conductei de 15 ani.

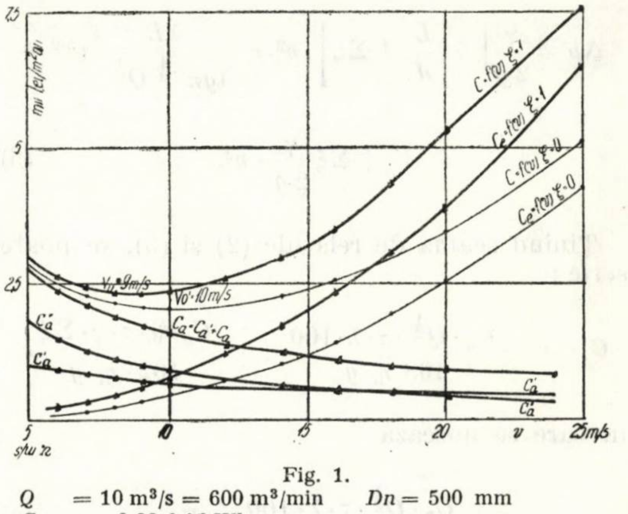



Fig. 1.

$Q = 10$ m³/s $= 600$ m³/min  $Dn = 500$ mm
$C_0 = 0{,}32$ lei/kWh
$C_a^* = 19{,}7$ lei/m³ · an  $\lambda = 0{,}0144$
$C_a^{**} = 69{,}5$ lei/m³ · an
$\eta_t = 0{,}45$  $v_0 = \sqrt[3]{\frac{K_3}{5K_1}} = 6{,}7$ m/s
$K_1 = 13{,}8$  $K_2 = 35$  $K_3 = 22 \cdot 10^3$  $K_4 = 89 \cdot 10^3$

Curba $C'_e = f\ (v)$ reprezintă costul energiei electrice consumate anual în instalațiile de aer comprimat, calculată cu relația :

$$C'_e = K_1 \cdot v^{\frac{5}{2}}. \qquad (23)$$

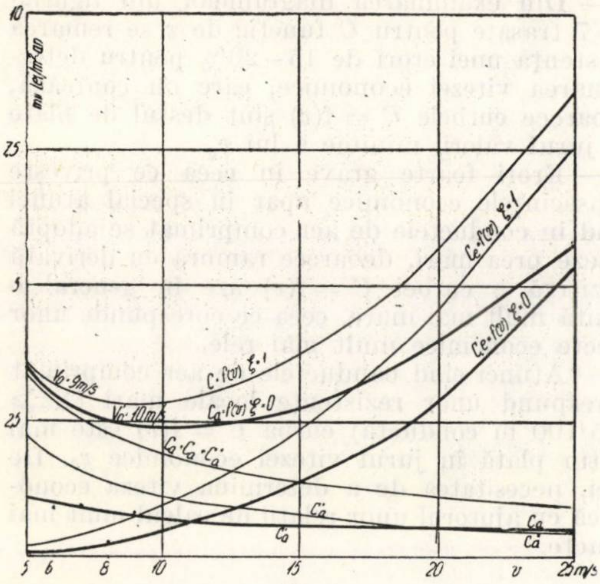



Fig. 2

$Q \ = 12{,}5\ m^3/s = 750\ m^3/min \qquad Dn = 500\ mm$
$C_e = \ 0{,}32$ lei/kWh
$C'_a = 19{,}7$ lei/m³ · an $\qquad \lambda \ = \ 0{,}0144$
$C''_a = \ 69{,}5$ lei/m³ · an
$\eta_t \ = \ 0{,}45 \qquad v_0 = \sqrt[3]{\frac{K_3}{5K_1}} = 6{,}85$ m/s
$K_1 = 15{,}6 \ \ K_2 = 43{,}6 \ \ K_3 = 24{,}8 \cdot 10^3 \ \ K_4 = 111 \cdot 10^3$

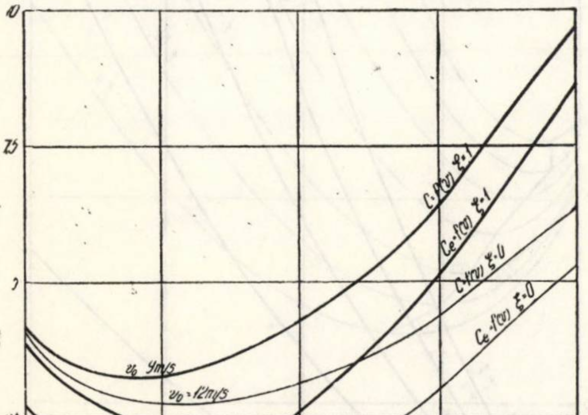



Fig. 3

$Q \ = 15\ m^3/s = 900\ m^3/min \qquad Dn = 500\ mm$
$C_0 = \ 0{,}32$ lei/kWh
$C'_a = \ 19{,}7$ lei/m³ · an
$C''_a = 69{,}5$ lei/m³ · an $\qquad \lambda \ = \ 0{,}0144$
$\eta_t \ = \ 0{,}45 \qquad v_0 = \sqrt[3]{\frac{K_3}{3K_1}} = 6{,}95$ m/s
$K_1 = 17 \ \ K_2 = 52{,}2 \ \ K_3 = 27{,}1 \cdot 10^3 \ \ K_4 = 133 \cdot 10^3$

S-a luat în considerare în calcule prețul unitar actual al energiei electrice, $C_0 = 0{,}32$ lei/kWh.

Rezistențele locale s-au determinat cu ajutorul tabelelor [4] pentru o suită de valori ale vitezei aerului alese în mod arbitrar. Aceste valori ale aerului, $\Sigma\xi$, au servit la calcularea lui $K_2$ din relația $K_2 \cdot v^2$ și la determinarea fiecărui punct al curbei $C'_e$.

$\tau$ a fost considerat de 7 200 h/an, adică 24 ore pe zi, pe o durată de 300 de zile de funcționare anual.

Curba :

$$C_e = C'_e + K_2 \cdot v^2 = K_1 \cdot v^{\frac{5}{2}} + K_2 \cdot v^2 = f(v) \quad (24)$$

reprezintă costul real al energiei electrice, ținînd seama de valoarea reală a pierderilor de sar-

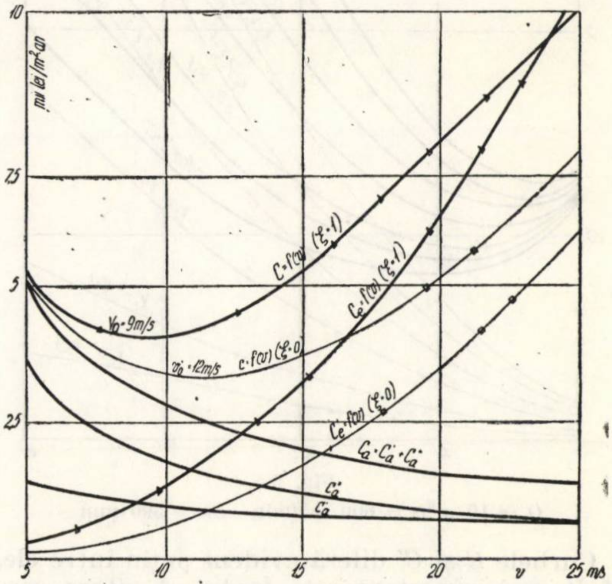



Fig. 4

$Q \ = 20\ m^3/s = 1\ 200\ m^3/min \quad Dn = 500\ mm$
$C_0 = \ 0{,}32$ lei/kWh
$C'_a = 19{,}7$ lei/m³ · an $\qquad \lambda = 0{,}0144$
$C''_a = 69{,}5$ lei/m³ · an
$\eta_t \ = 0{,}45 \qquad v_0 = \sqrt[3]{\frac{K_3}{5K_1}} = 7{,}25$ m/s
$K_1 = 19{,}6 \ \ K_2 = 70 \ \ K_3 = 31{,}5 \cdot 10^3 K_4 = 178 \cdot 10^3$

cină, determinate cu ajutorul tabelelor. Se constată că cele două curbe $C_e$ și $C'_e$ au aproximativ aceeași alură și diferă puțin datorită variației lui $\lambda$ cu viteza.

Curba $C = f\ (v)$ din diagramele din figurile 5–7 reprezintă ecuația :

$$C = K_1 \cdot v^{\frac{5}{2}} + K_2 \cdot v^2 + K_3 \cdot v^{-\frac{1}{2}} + K_4 \cdot v^{-1} =$$
$$= f(v) = C_e + C_a.$$

Curba $C' = \mathrm{f}(v)$ din diagramele din figurile 1–4 reprezintă ecuaţia :

$$C' = K_1 \cdot v^{\frac{5}{2}} + K_3 \cdot v^{\frac{1}{2}} + K_4 \cdot v^{-1} = \mathrm{f}(v) = C'_e + C_a \qquad (25)$$

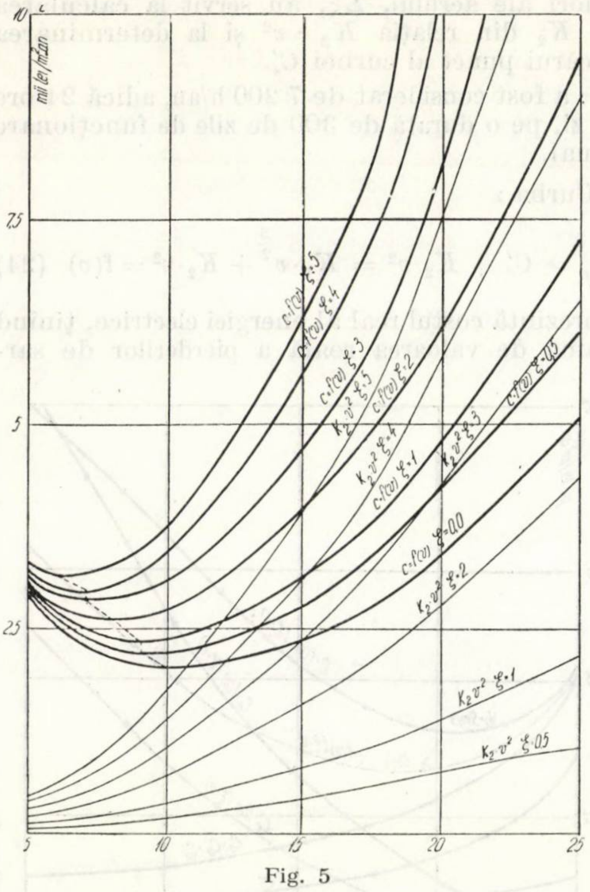



Fig. 5

$Q = 10$ m³/s $= 600$ m³/min $Dn = 500$ mm

Curbele $C$ şi $C'$ diferă evident puţin între ele. Mult mai important este faptul că viteza economică în conductele de aer, $v_0$, dedusă din calcule cu relaţia (21), are valori mai mici cu circa 10–15% decît valorile obţinute din diagramele din figurile 1–4. Aceasta corespunde cu limita erorilor grafice şi cu erorile introduse de către ipotezele de calcul asupra lui $\lambda$. În concluzie, ipoteza simplificatoare emisă în legătură cu $\lambda$ şi $K_2$ este pe deplin justificată, deoarece rezultatele obţinute din formulele de calcul nu sînt mult diferite de cele obţinute din grafice. În plus, expresia de calcul pentru viteza economică $v_0$ este foarte simplă şi comodă.

Din cele expuse mai sus rezultă că metoda propusă pentru determinarea vitezei economice în cazul conductelor de aer comprimat este foarte utilă la verificarea oricărui proiect sau a unei lucrări deja executate, folosind relaţia (25).

**Concluzii**

Relaţia de calcul (21) şi diagramele trasate conduc la următoarele concluzii :

— Amortizarea anuală $C$ a unui metru pătrat de conductă de aer va fi cu atît mai mare cu cît diametrul conductei este mai mare, ceea ce face ca viteza economică să crească odată cu diametrul conductei (22).

— Din examinarea diagramelor din figurile 5–7 trasate pentru $C$ funcţie de $v$ se remarcă existenţa unei erori de 15–20% pentru determinarea vitezei economice, care nu contează, deoarece curbele $C = \mathrm{f}(v)$ sînt destul de plate în jurul valorii minime a lui $v_0$.

— Erori foarte grave în ceea ce priveşte consecinţele economice apar în special atunci cînd în conductele de aer comprimat se adoptă viteze prea mari, deoarece ramura cu derivată pozitivă a curbei $C = \mathrm{f}(v)$ are în general o pantă mult mai mare, ceea ce corespunde unor efecte economice mult mai rele.

— Atunci cînd conductele de aer comprimat corespund unor rezistenţe locale mari ($\Sigma\xi \geqslant 5/100$ m conductă) curba $C = \mathrm{f}(v)$ este mai puţin plată în jurul vitezei economice $v_0$. De aici, necesitatea de a determina viteza economică cu ajutorul unor relaţii de calcul mult mai exacte.

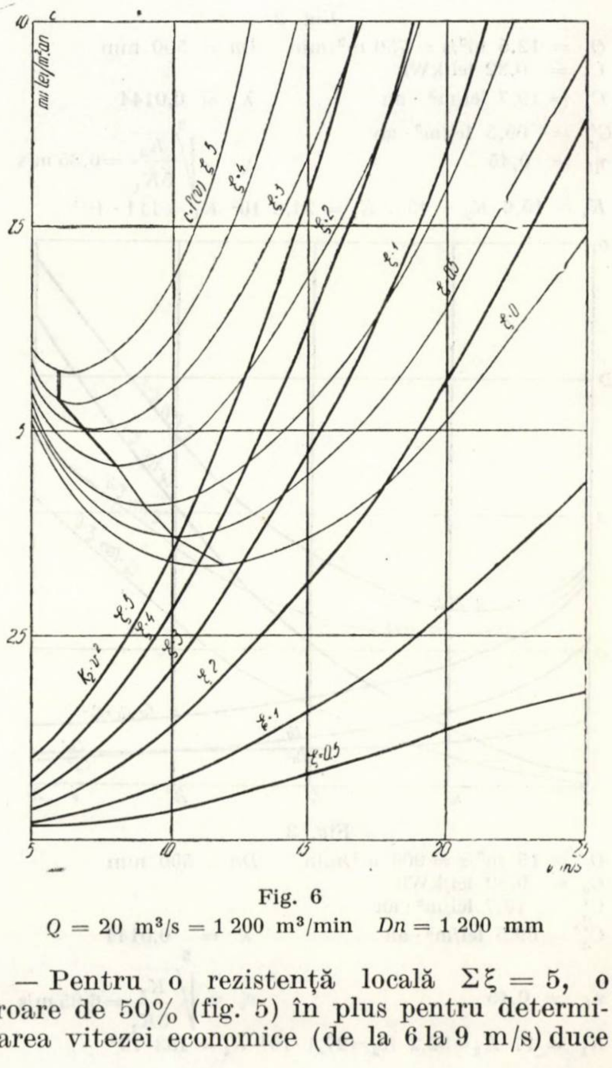



Fig. 6

$Q = 20$ m³/s $= 1\,200$ m³/min $Dn = 1\,200$ mm

— Pentru o rezistenţă locală $\Sigma\xi = 5$, o eroare de 50% (fig. 5) în plus pentru determinarea vitezei economice (de la 6 la 9 m/s) duce

la o creştere a preţului de cost al aerului comprimat de la 5 600 la 6 300 lei/an, adică la o pagubă de 700 lei/an pentru fiecare metru de conductă.

— Soluţiile cu un plus sau un minus de 25% faţă de viteza economică în conductele de aer sînt admisibile.

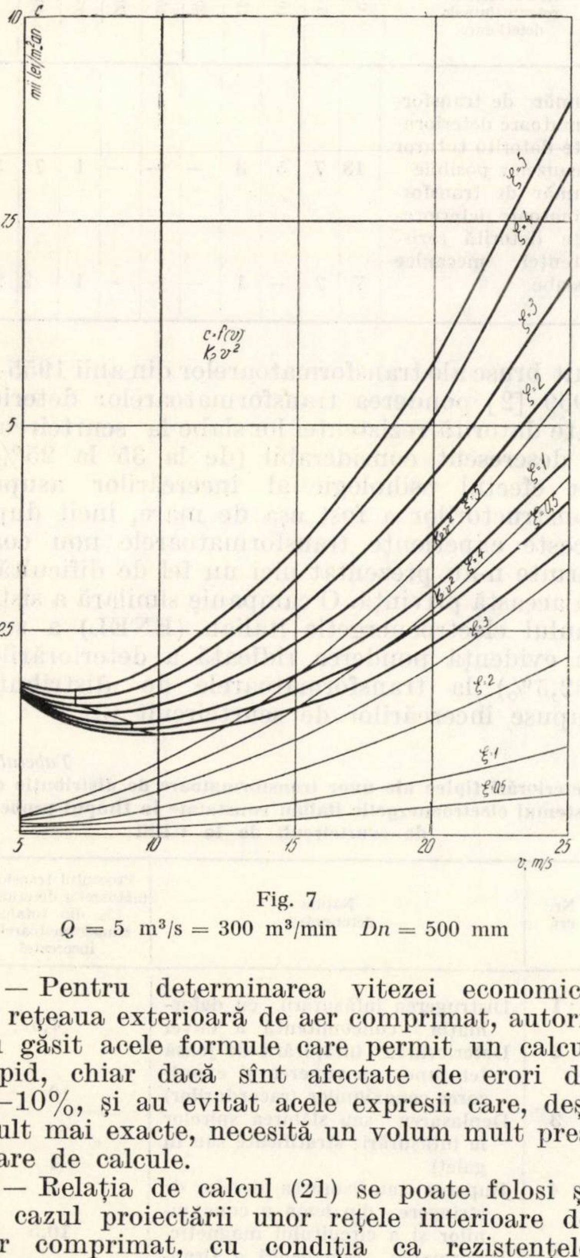



Fig. 7
$Q = 5\ \text{m}^3/\text{s} = 300\ \text{m}^3/\text{min} \quad Dn = 500\ \text{mm}$

— Pentru determinarea vitezei economice în reţeaua exterioară de aer comprimat, autorii au găsit acele formule care permit un calcul rapid, chiar dacă sînt afectate de erori de 0–10%, şi au evitat acele expresii care, deşi mult mai exacte, necesită un volum mult prea mare de calcule.

— Relaţia de calcul (21) se poate folosi şi în cazul proiectării unor reţele interioare de aer comprimat, cu condiţia ca rezistenţele locale pentru 100 m de conductă să satisfacă relaţia : $\Sigma\xi \leqslant 5$ (pentru 100 m conductă).

— Viteza economică $v_0$ este invers proporţională cu numărul de ore de funcţionare, adică cu $\tau^{\frac{1}{3}}$. De exemplu, la instalaţiile de aer comprimat care lucrează în trei schimburi, adică cîte 7 200 h/an, viteza economică $v_0$ va fi de circa 50% din cea obţinută într-o instalaţie de aer ce lucrează doar 800 h/an, toate celelalte condiţii de funcţionare rămînînd neschimbate.

— Notîndu-se cu $P_1$ puterea calculată, necesară staţiei de compresoare pentru a obţine o viteză $v_1$ în conductele de aer, şi cu $P_2$ puterea electrică necesară pentru viteza $v_2$, se poate scrie :

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{K_1 \cdot v_2^{\frac{5}{2}} + K_2 \cdot v_2^2}{K_1 \cdot v^{\frac{5}{2}} + K_2 \cdot v_1^2} = \frac{C_{e_2}}{C_{e_1}},$$

Se remarcă deci că preţul de cost al motoarelor electrice necesare staţiei de compresoare variază odată cu aceste valori ($v_1$ şi $v_2$).

Vitezele adoptate în mod obişnuit în reţelele exterioare de aer comprimat sînt neeconomice şi produc pierderi anuale însemnate.

Scopul acestui studiu este tocmai de a pune la îndemîna proiectanţilor criterii uşor de aplicat, care să dea pentru viteza economică în conductele de aer valori practic valabile.

Erorile date de cele două formule propuse de autori pentru calcularea lui $v_0$ sînt sub 10%. O eroare de 10% asupra vitezei adoptate pentru conductele de aer modifică extrem de puţin costul aerului comprimat.

**Bibliografie**


[1] Maksimov, I. G. *Calculul conductelor de aer.* Leningrad, 1952, p. 40.

[2] Baturin, V. V. *Ventilaţia industrială.* Traducere din limba rusă. Editura tehnică, 1955, p. 181.

[3] Orlov, A. J. *Încălzire şi ventilaţie.* Traducere din limba rusă. E.S.A.C., 1954, p. 246.

[4] Rietschel şi Raiss, W. *Tehnica încălzirii şi ventilării.* Editura tehnică, 1967.

[5] D'Albon, G., Ciobanu, C. şi Ursescu, D. *Determinarea vitezelor economice în conductele de ventilaţie.* În : Buletin I.P.I., tom. I (IV), fasc. 1, 2, 1955, p. 379–402.

[6] * * * *Manualul inginerului termotehnician.* Editura tehnică, 1961, vol. II.


**(Articol intrat în redacţie la 18 noiembrie 1971)**

# Încercarea la scurtcircuit brusc a transformatoarelor privită de pe poziția beneficiarului

Dr. ing. B. Máthé
și ing. C. Moldoveanu*)

## Necesitatea efectuării încercării la scurtcircuit brusc

Siguranța neîntreruptă în funcționare a transformatoarelor de putere și de distribuție în instalațiile sistemului energetic depinde în primul rînd de comportarea acestor echipamente în regimul de avarie cel mai frecvent întîlnit în sistem — regimul de scurtcircuit. Această concluzie a rezultat atît din raportul Comisiei de Stat de analiză a funcționării sistemului energetic național (înființată din inițiativa C.C. al P.C.R. la 19 octombrie 1971), cît și din datele statistice prezentate în literatura de specialitate. Astfel, conform ultimelor date statistice [1], prezentate în tabelele 1 și 2, rezultă că aproape 50% din funcționările necorespunzătoare ale transformatoarelor din sistemul Detroit-Edison Company din S.U.A. în anul 1969 s-au datorat rezistenței mecanice slabe a diferitelor transformatoare (transformatoare de bloc și de distribuție), comportare slabă care putea fi scoasă în evidență prin încercările prealabile la scurtcircuit brusc.

*Tabelul 1*

**Repartizarea deteriorărilor de transformatoare în sistemul Detroit-Edison Company, după cauze, în perioada 1965—1969**

| Anul deteriorării | Datorită tuturor cauzelor posibile | | Datorită rezistenței mecanice slabe | |
|---|---|---|---|---|
| | Număr de transformatoare deteriorate | Durata de funcționare, ani | Număr de transformatoare deteriorate | Durata de funcționare, ani |
| 1965 | 3 | 9,3 | 1 | 1 |
| 1966 | 3 | 19,3 | — | — |
| 1967 | 17 | 23,8 | 6 | 33,7 |
| 1968 | 5 | 15,2 | 1 | 1 |
| 1969 | 12 | 15,6 | 6 | 2,17 |

Datele din tabelul 2 confirmă și mai mult aceasta, ținînd seama de faptul că majoritatea transformatoarelor cercetate s-au deteriorat în primii ani de exploatare, din motive de concepție și de fabricație. O situație asemănătoare prezintă sistemul electroenergetic francez (EdF), unde după o campanie de încercări la scurtcircuit brusc ale transformatoarelor din anii 1955—1959 [2] ponderea transformatoarelor deteriorate datorită rezistenței lor slabe la scurtcircuit a descrescut considerabil (de la 35 la 25%), iar efectul psihologic al încercărilor asupra constructorilor a fost așa de mare, încît după aceste experiențe transformatoarele nou construite n-au prezentat nici un fel de dificultăți în această privință. O campanie similară a sistemului electroenergetic italian (ENEL) a scos în evidență ponderea ridicată a deteriorărilor (52,5%) la transformatoarele de distribuție supuse încercărilor de scurtcircuit [3].

*Tabelul 2*

**Repartizarea deteriorărilor în funcție de durata de funcționare a transformatoarelor, în sistemul Detroit-Edison Company, în perioada 1965—1969**

| Număr de ani de funcționare a transformatoarelor înainte de deteriorare | 0—5 | 5—10 | 10—15 | 15—20 | 20—25 | 25—30 | 30—35 | 35—40 | 40—45 | 45—50 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Număr de transformatoare deteriorate datorită tuturor cauzelor posibile | 13 | 7 | 5 | 3 | — | — | — | 1 | 7 | 5 |
| Număr de transformatoare deteriorate datorită rezistenței mecanice slabe | 7 | 2 | — | 1 | — | — | — | 1 | 2 | 2 |

*Tabelul 3*

**Deteriorări tipice ale unor transformatoare de distribuție din sistemul electroenergetic italian constatate în timpul probelor de scurtcircuit de la CESI**

| Nr. crt. | Natura deteriorării | Procentul transformatoarelor deteriorate (% din totalul transformatoarelor încercate) |
|---|---|---|
| 1 | Distrugerea înfășurării cu deformația concomitentă a cuvei | 4,5 |
| 2 | Deteriorarea înfășurării de joasă tensiune cu ruperea și expulzarea conexiunilor (racordurilor) | 10 |
| 3 | Deplasarea sau slăbirea spirelor la înfășurări stratificate sau în galeți | 1 |
| 4 | Ruperea sau fisurarea pieselor de stringere din lemn a conexiunilor și a circuitului magnetic | 10,5 |
| 5 | Deformarea remanentă a tiranților metalici | 1,5 |
| 6 | Deformări accentuate în zona realizării constructive a punctului neutru al înfășurării de joasă tensiune | 7 |
| 7 | Slăbirea penelor și a distanțoarelor electroizolante | 18 |
| 8 | Totalul transformatoarelor deteriorate în % (dintre care 22,6 % deformații remanente care au împiedicat funcționarea ulterioară a transformatorului) | 52,5 |

*) Balazs Máthé este șeful sectorului Tehnica tensiunilor înalte din ICENERG; Constantin Moldoveanu este cercetător la ICENERG.

Efectuarea încercărilor la scurtcircuit brusc ridică însă o serie de probleme (condiţii şi metode de încercare, riscul ridicat al deteriorărilor la probe etc.) care nu sînt rezolvate definitiv nici pe plan mondial [4–8]. Din acest motiv problema încercărilor la scurtcircuit brusc a figurat în ordinea de zi a ultimelor reuniuni ale specialiştilor la nivel de CEI (Bruxelles, iunie 1971), CAER (Berlin, mai 1971) şi CIGRE (Karlovy-Vary, septembrie 1971).

Problema încercării transformatoarelor la scurtcircuit nu a fost rezolvată nici pe plan naţional la nivelul exigenţelor exploatării. Astfel, de exemplu, pînă în prezent s-au efectuat încercări de scurtcircuit brusc doar pentru cîteva transformatoare cu puteri de pînă la 16 000 kVA şi tensiune nominală de 6 kV în laboratorul de încercări al GUAME – Craiova (pentru puteri de pînă la 630 kVA) şi la staţia de încercări de la IRE Braşov (cîte un transformator de 1 000, 1 600 şi 16 000 kVA). Restul transformatoarelor a rămas neîncercat din lipsa unei instalaţii corespunzătoare. Problema verificării şi a atestării transformatoarelor se pune cu deosebită acuitate astăzi, cînd datorită creării condiţiilor de încercare la beneficiarul principal al transformatoarelor (staţia de încercări de mare putere de pe platforma Bucureşti-Sud) şi la fabrica constructoare (laboratorul de mare putere de la GUAME – Craiova) au fost realizate condiţii favorabile pentru declanşarea unei campanii similare cu cea din Franţa şi Italia din anii precedenţi.

Trebuie menţionat faptul că încercările s-au efectuat după standarde incomplete (care nu cuprind prevederi asupra tensiunii de încercare, momentului conectării bruşte a sursei de tensiune, toleranţei maxime asupra curentului de scurtcircuit, căderii de frecvenţă, duratei curentului de scurtcircuit etc.) sau conţinînd condiţii ce nu mai satisfac în prezent pe beneficiar (numărul probelor de scurtcircuit este redus, metodele de defectoscopie au sensibilitate mică etc.).

Pentru stabilirea unor condiţii de încercare corespunzătoare, Institutul român de standardizare a luat măsuri de elaborare de către GUAME – Craiova a unui standard special, care să cuprindă tocmai condiţiile tehnice referitoare la încercarea la scurtcircuit brusc a transformatoarelor. Se consideră că în standard trebuie introduse cel puţin condiţiile principale ale beneficiarului, care prin specificul lucrurilor cunoaşte mai bine condiţiile reale de funcţionare a echipamentelor în sistemul electroenergetic şi este „mai interesat" în îmbunătăţirea calităţii şi a fiabilităţii decît constructorul transformatoarelor.

**Principalele condiţii impuse încercării la scurtcircuit brusc a transformatoarelor**

*Scopul şi natura încercării*

Scopul încercării transformatoarelor la scurtcircuit brusc constă în verificarea rezistenţei mecanice (dinamice) a întregii construcţii şi în atestarea stabilităţii termice a căilor de curent (înfăşurări, conexiuni, borne etc.).

Datorită posibilităţilor de încercare create prin dotarea corespunzătoare a staţiei de încercare de mare putere de la Bucureşti-Sud a ICENERG şi prin terminarea laboratorului de încercare de mare putere de la GUAME – Craiova, încercarea la scurtcircuit brusc a transformatoarelor trebuie prevăzută în standardul care va apărea :

— ca *încercare de tip* pentru transformatoarele cu puteri de pînă la 63 MVA ;

— ca *încercare specială* pentru restul transformatoarelor.

Limitarea puterii la 63 MVA se propune numai din considerente practice, legate de greutăţile efectuării acestor probe pentru transformatoarele de puteri mai mari în etapa actuală.

Odată cu lărgirea posibilităţilor de încercare ale standurilor menţionate această limită va putea creşte în mod corespunzător (puterea maximă a transformatoarelor încercate în acest regim este în prezent de 300 MVA).

Luînd exemplul EdF şi al ENEL este bine ca beneficiarul principal al transformatoarelor, M.E.E., să efectueze probele de scurtcircuit brusc numai pentru omologarea seriei zero.

*Starea transformatorului înainte de încercare*

Probele de scurtcircuit se efectuează cu transformatorul complet montat. În cazuri justificate din punct de vedere tehnic, în mod excepţional, aceste probe se pot executa şi fără unele accesorii, care însă nu trebuie să influenţeze comportarea transformatorului în timpul scurtcircuitului (de exemplu echipamentul de răcire detaşabil). În mod cu totul excepţional şi cu acordul prealabil al constructorului, aceste probe la transformatoarele cu izolaţie lichidă (de exemplu, ulei sau clophen) se pot face fără cuvă, în aer, dacă rigiditatea dielectrică a izolaţiei permite acest lucru.

Dacă în convenţia prealabilă încheiată între constructor şi beneficiar nu se specifică altfel, înainte de efectuarea probei pentru verificarea stabilităţii termice transformatorul trebuie să ajungă la temperatura de lucru în regim nominal.

Încercarea se efectuează după ce transformatorul a fost supus probelor de control (măsurarea rezistenţelor înfăşurărilor în curent continuu, măsurarea rezistenţei de izolaţie, măsurarea raportului de transformare, a tensiunii şi a pierderilor de scurtcircuit, a curentului şi a pierderilor de mers în gol), ale căror rezultate vor servi ca date de bază pentru stabilirea concluziilor

asupra comportării transformatorului la proba de scurtcircuit brusc.

În caz de necesitate lista măsurătorilor prealabile trebuie completată cu alte probe de identificare mai exactă a stării transformatorului înaintea încercării de scurtcircuit brusc (ca, de exemplu, ridicarea unor oscilograme indicînd „reacţia" înfăşurării la unde de impuls, nivelul de vibraţii etc.).

*Numărul şi durata probelor de scurtcircuit*

Datorită efectului cumulativ al mai multor scurtcircuite la care transformatorul poate fi supus în exploatare şi ţinînd seama de necesitatea obţinerii unor construcţii de transformatoare mai fiabile se propune executarea a zece probe de scurtcircuit, dintre care una cu durata de 2—3 s (2 s dacă $u_{sc} < 5\%$ şi 3 s dacă $u_{sc} \geqslant 5\%$), pentru verificarea stabilităţii termice, iar celelalte nouă cu durata de 0,05—0,2 s, pentru verificarea rezistenţei mecanice [9], [10].

La transformatoarele cu comutator de ploturi cele nouă probe de scurtcircuit de durată redusă (probe de stabilitate dinamică) vor putea fi efectuate cîte trei pe fiecare poziţie a comutatorului, corespunzătoare raportului de transformare maxim, nominal şi minim, pe cînd proba de stabilitate termică trebuie executată pe poziţia comutatorului corespunzătoare regimului nominal.

Pentru etalonarea schemelor de încercare şi de măsură înainte de încercările propriu-zise se execută un număr de încercări la valori ale curentului de scurtcircuit de 50—80% din valoarea curentului de scurtcircuit prestabilit. Numărul acestor scurtcircuite preliminare nu intră în numărul de scurtcircuite specificat mai sus.

*Valoarea maximă admisibilă a temperaturii medii a înfăşurării după proba de scurtcircuit*

Pentru transformatoarele cu clasa de izolaţie A, E, B, F sau H, valoarea maximă admisibilă a temperaturii medii la care înfăşurările din cupru sau aluminiu pot ajunge după proba de scurtcircuit brusc trebuie să fie egală sau mai mică decît cea dată în tabelul 4. Aceste valori corespund valorilor acceptate de CEI [9].

*Tabelul 4*

**Valoarea maximă admisibilă a temperaturii medii a înfăşurărilor după proba de scurtcircuit**

| Tipul transformatorului | Clasa de izolaţie | Temperatura, °C | |
|---|---|---|---|
| | | înfăşurare din Cu | înfăşurare din Al |
| în ulei | A | 250 | 200 |
| uscat | A | 180 | 180 |
| | E | 250 | 200 |
| | B | 350 | 200 |
| | F şi H | 350 | — |

*Condiţii impuse instalaţiei de încercare*

Încercările transformatoarelor şi ale autotransformatoarelor de putere trifazate trebuie să se facă în schemă de încercare trifazată, impunîndu-se ca instalaţia de încercare să îndeplinească următoarele condiţii :

— sursa de alimentare a schemei de încercare să debiteze o tensiune trifazată practic sinusoidală şi practic simetrică [13];

— în circuitul de încercare (în timpul probei) să circule un curent de scurtcircuit care să nu difere de curentul de scurtcircuit prestabilit şi garantat de fabrica constructoare cu mai mult de $\pm$ 10% [9];

— durata curentului de scurtcircuit în timpul probei să nu difere de valoarea prestabilită cu mai mult de $\pm$ 10% [12];

— scăderea frecvenţei în timpul probei de scurtcircuit să nu depăşească $\pm$ 10% [14];

— conectarea bruscă a sursei la una dintre înfăşurările transformatorului, cealaltă înfăşurare fiind scurtcircuitată, să se facă în momentul ales, corespunzător stabilirii într-una din fazele circuitului de încercare a celei mai mari componente aperiodice a curentului de scurtcircuit. Din acest motiv instalaţia de încercare trebuie să permită [9] conectarea sincronă a sursei pe bornele înfăşurării primare sau scurtcircuitarea în fază a înfăşurării secundare. (Astfel, pentru conexiunea-stea a înfăşurărilor, maximul asimetriei este obţinut la conectarea sursei atunci cînd tensiunea pe fază trece prin zero; pentru înfăşurările cu conexiunea în triunghi, această asimetrie maximă este obţinută la conectare atunci cînd tensiunea de linie trece prin zero.);

— dacă scurtcircuitarea înfăşurării se face după alimentarea celeilalte înfăşurări de la sursă, atunci creşterea de tensiune nu trebuie să depăşească 1,15 din tensiunea nominală a înfăşurării transformatorului [9].

*Mărimi fizice determinate la probe*

La fiecare încercare de scurtcircuit brusc trebuie să se înregistreze cu un oscilograf adecvat cel puţin următoarele mărimi :

— curentul de scurtcircuit în fiecare fază;

— tensiunea pe fiecare fază (sau tensiunile corespunzătoare de linie).

Determinarea curentului de scurtcircuit echivalent $I_{et}$ pentru verificarea stabilităţii termice se face astfel [14]:

— durata totală a curentului pe oscilogramă, se împarte, prin linii verticale, în zece părţi egale, ca în figura 1, iar valorile efective ale componentei alternative a curentului se măsoară pe aceste verticale;

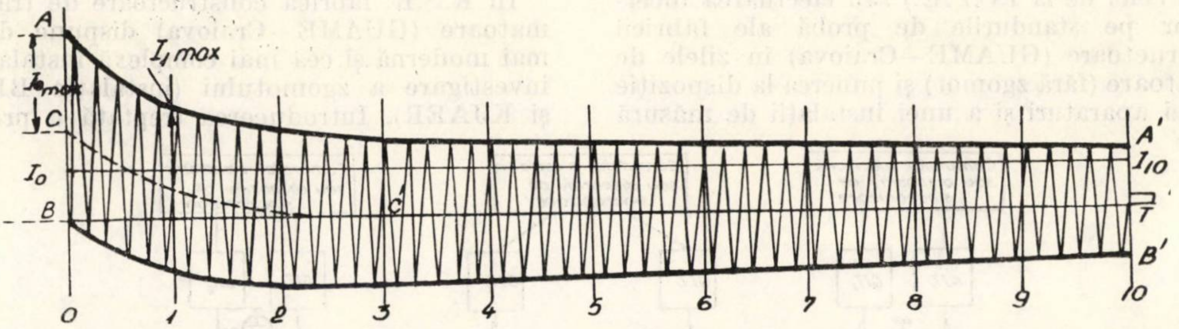



Fig. 1. Determinarea curentului de scurtcircuit echivalent:

*AA' BB'* – înfăşurările oscilaţiilor curentului; *CC'* – deplasarea liniei de zero a oscilaţiilor curentului faţă de linia de zero normală la un anumit moment; $I_0 I_{10}$ – valoarea efectivă a componentei alternative a curentului la un anumit moment măsurată faţă de linia de zero normală. Componenta aperiodică este neglijată; $I_{0max}$ – valoarea de vîrf a componentei alternative a curentului la momentul iniţial al scurtcircuitului; $I_{1max}$ – valoarea de vîrf a componentei alternative a curentului la momentul corespunzător diviziunii *1*; *BT* – durata scurtcircuitului.

— se notează valorile menţionate cu $I_0$, $I_1, \ldots I_{10}$, unde $I_i = \frac{I_{max\,i}}{\sqrt{2}}$, $I_{max\,i}$ fiind valoarea de vîrf a componentei respective alternative a curentului de scurtcircuit, în kA;

— se consideră că componenta aperiodică a curentului, reprezentată prin curba *CC'*, este neglijabilă, întrucît introducerea ei în determinarea curentului de stabilitate termică are efect neglijabil, spre deosebire de cazul în care se verifică rezistenţa mecanică a întregii construcţii (stabilitate dinamică);

— valoarea efectivă echivalentă din punct de vedere termic a curentului de scurtcircuit de durată egală cu cea a curentului obţinut la probe este dată de expresia:

$$I_{et} = \sqrt{\frac{1}{30}[I_0^2+4(I_1^2+I_3^2+I_5^2+I_7^2+I_9^2)+2(I_2^2+I_4^2+I_6^2+I_8^2)+I_{10}^2]} \quad [\text{kA}] \qquad (1)$$

Cînd posibilităţile de încercare, ca durată a scurtcircuitului, sînt limitate de instalaţia de încercare, se prevede ca încercările să se facă la curentul de scurtcircuit prestabilit, însă cu durată mai mică, în etape succesive. Notînd cu *a*, *b*, *c*... *n* numărul de ordine al scurtcircuitelor aplicate, cu $I_a, I_b \ldots I_n$ valorile efective ale curenţilor de scurtcircuit echivalenţi, iar cu $t_a$, $t_b \ldots t_n$ duratele acestor scurtcircuite şi neglijînd răcirea între încercări, seria de încercări cu succesiune rapidă (cu intervale de secunde sau fracţiuni de secundă între ele) trebuie să satisfacă condiţia:

$$I_a^2 t_a + I_b^2 t_b + I_c^2 t_c + \ldots + I_n^2 t_n \geqslant I_g^2 t_g \; [\text{kA}^2\text{s}] \qquad (2)$$

în care

$I_g$ este valoarea curentului de stabilitate termică garantată, kA;

$t_g$ — durata curentului de stabilitate termică garantată, s.

Dacă încercarea se execută cu un curent redus în comparaţie cu cel garantat, atunci, cu acordul beneficiarului, se poate face o extrapolare a temperaturii medii a înfăşurării după metoda următoare: după o încercare la un curent de scurtcircuit $I'$ (kA) de durată $t'$ (s), supratemperatura măsurată este $T'$ (°C). Neglijînd schimbarea rezistenţei în timpul încercării, creşterea de temperatură sau supratemperatura $T$, corespunzătoare încercării la un curent de scurtcircuit prestabilit $I$ şi de durată $t$, poate fi calculată cu expresia:

$$T = T' \frac{I^2 t}{I'^2 t'} \quad [°\text{C}] \qquad (3)$$

*Defectoscopia transformatorului*

Se consideră că transformatorul a rezistat încercării de stabilitate termică şi dinamică, la scurtcircuit brusc, dacă în construcţia lui nu a survenit nici un defect sau deformare sensibilă care să-i impiedice buna funcţionare în continuare la parametrii nominali.

Detectarea defectelor transformatorului se face cel mai bine prin determinarea variaţiei reactanţei şi a pierderilor în regim de mers în gol şi în regim de scurtcircuit, prin măsurarea şi analizarea nivelului de zgomot produs de transformator, prin aplicarea unor impulsuri de tensiune, prin ridicarea spectrului componentei radiale a fluxului magnetic înainte şi după proba de scurtcircuit brusc.

Primele metode au avantajul aplicării uşoare şi dezavantajul insensibilităţii la defecte pasagere sau de amploare mică. Sensibilitatea acestor metode convenţionale bazate pe STAS [13] depinde mult de genul şi de amploarea defectului produs, de tipul construcţiei şi de precizia de măsură.

Determinarea nivelului de zgomot şi analiza armonică a semnalului de zgomot obţinută înaintea, în timpul şi după proba de scurtcircuit brusc reprezintă o metodă mai sensibilă din acest punct de vedere. Aplicarea ei presupune însă existenţa unei camere surde (asemănă-

toare celei de la I.C.P.E.) sau efectuarea încercărilor pe standurile de probă ale fabricii constructoare (GUAME—Craiova) în zilele de sărbătoare (fără zgomot) și punerea la dispoziție a unei aparaturi și a unei instalații de măsură

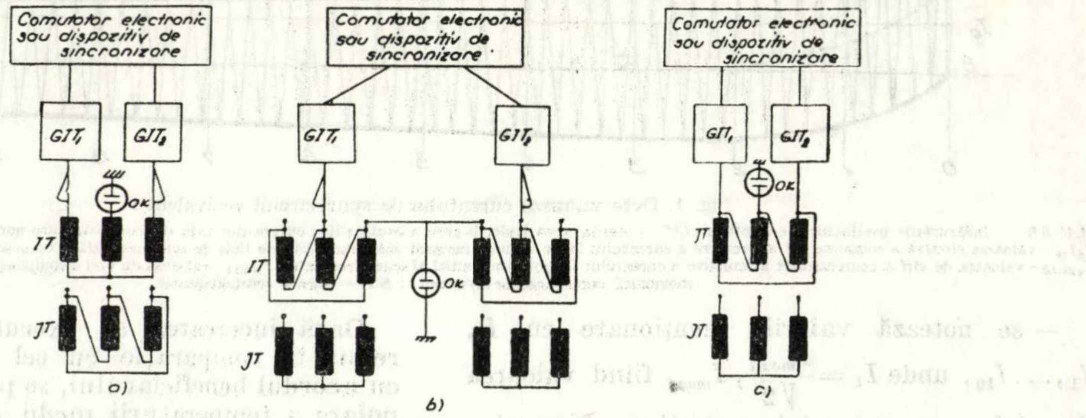



Fig. 2. Circuit de măsură în metoda de detecție cu două unde de impuls de tensiune:
a) aplicate unei înfășurări în stea; b) aplicate la două transformatoare dintre care unul este folosit ca martor; c) aplicate unei înfășurări în triunghi; $GIT$ – generator de impuls de tensiune; $OK$ – osciloqraf catodic.

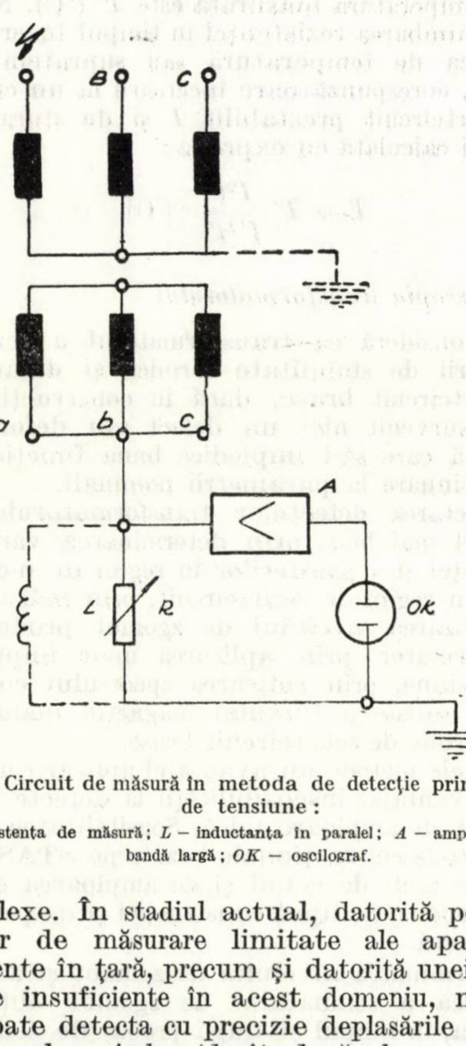



Fig. 3. Circuit de măsură în metoda de detecție prin impuls de tensiune:
$R$ – rezistența de măsură; $L$ – inductanța în paralel; $A$ – amplificator în bandă largă; $OK$ – osciloqraf.

complexe. În stadiul actual, datorită posibilităților de măsurare limitate ale aparaturii existente în țară, precum și datorită unei experiențe insuficiente în acest domeniu, metoda nu poate detecta cu precizie deplasările relativ reduse ale spirelor (decît dacă ele se produc brusc) și deplasările care cresc progresiv dar foarte lent în timpul încercărilor.

În R.S.R. fabrica constructoare de transformatoare (GUAME—Craiova) dispune de cea mai modernă și cea mai complexă instalație de investigare a zgomotului (instalație BRUEL și KJAER). Introducerea treptată a probelor

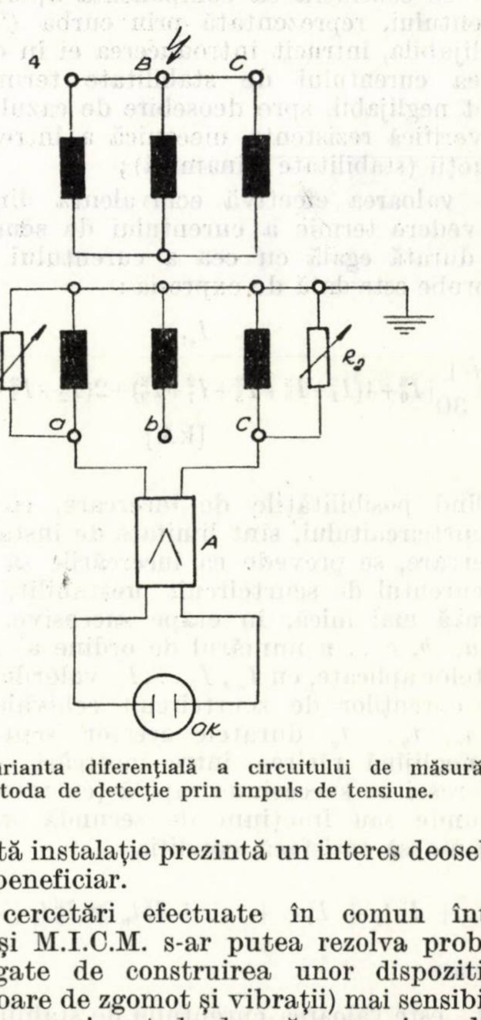



Fig. 4. Varianta diferențială a circuitului de măsură în metoda de detecție prin impuls de tensiune.

cu această instalație prezintă un interes deosebit pentru beneficiar.

Prin cercetări efectuate în comun între M.E.E. și M.I.C.M. s-ar putea rezolva problemele legate de construirea unor dispozitive (traductoare de zgomot și vibrații) mai sensibile, elaborarea unei metode de măsurare și analiză a semnalului de zgomot și stabilirea unor limite superioare, admisibile, ale nivelului de zgomot și de vibrații la încercarea de scurtcir-

cuit brusc pentru principalele tipuri constructive de transformatoare.

O altă metodă de detectare a defectelor sau a deformaţiilor remanente, mult mai precisă, constă în :

— aplicarea simultană a două unde de impuls pe două faze (bobine) ale unui transformator sau două transformatoare identice, ca în figura 2 [15], [16];

— aplicarea unor impulsuri de tensiune la fiecare dintre fazele înfăşurării transformatorului, în timp ce cealaltă înfăşurare este scurtcircuitată, ca în figura 3 [8];

— aplicarea impulsurilor de tensiune la toate fazele de înaltă tensiune, ca în figura 4 [8].

Prima metodă a dat rezultate bune în practică, fiind aplicată la GUAME—Craiova încă din anul 1962, înaintea multor firme de prestigiu din lume.

Metoda de defectoscopie bazată pe măsurarea componentei radiale a fluxului [17] este o metodă precisă, însă aplicarea ei la defectoscopia transformatoarelor în cadrul încercărilor de scurtcircuit brusc necesită cel puţin două decuvări ale transformatorului şi un volum mare de muncă.

*Elementele ce trebuie cuprinse în buletinul de încercare*

În buletinul de încercare prin care se atestă comportarea transformatorului la proba de scurtcircuit brusc trebuie incluse cel puţin datele indicate în anexa 1 necesare atît pentru identificarea exactă a obiectului probat, cît şi pentru confirmarea rezultatelor obţinute.

**Concluzii**

1. Numeroasele avarii produse în sistemele electroenergetice moderne datorită rezistenţei mecanice slabe a diferitelor construcţii de transformatoare de putere şi de distribuţie fac din proba de scurtcircuit brusc un examen-cheie, de importanţă deosebită în obţinerea unor produse de calitate şi fiabilitate ridicată.

2. Tendinţele actuale ale standardizării în domeniul probelor de scurtcircuit brusc al transformatoarelor pe plan mondial, precum şi exigenţele la ordinea zilei faţă de funcţionarea fără întrerupere a sistemului energetic naţional impun revizuirea şi completarea standardelor naţionale în acest domeniu (STAS 1703 şi STAS 3035) în mod corespunzător sau elaborarea unui standard special pentru toate condiţiile tehnice privind rezistenţa la scurtcircuit brusc a transformatoarelor.

3. La revizuirea şi completarea celor două standarde sau la elaborarea standardului special trebuie să se ţină seama în primul rînd de cerinţele beneficiarului. Pentru aceasta se propune ca omologarea prototipului să se facă pe baza încercărilor de scurtcircuit brusc executate de constructor, iar omologarea seriei zero să se facă pe baza încercărilor de scurtcircuit brusc executate prin grija beneficiarului, în prezenţa şi în contul constructorului.

4. În prezent, prin încercări efectuate în staţia de încercări de mare putere de la Bucureşti-Sud, staţia de încercări de la Braşov şi în sistem (asemănător EdF, care a reuşit să încerce la scurtcircuit brusc în sistem un autotransformator de 300 MVA), beneficiarul poate să verifice experimental majoritatea covîrşitoare a tipurilor de transformatoare fabricate de industria electrotehnică din R.S.R.

5. Este necesară o colaborare mai strînsă între constructor şi beneficiar (M.I.C.M. şi M.E.E.) pentru rezolvarea la nivel corespunzător a acestei probleme importante şi la ordinea zilei.

**Anexa 1**

**Date minime ce trebuie incluse în buletinele de încercare**

1. Date generale
   a. Data încercărilor
   b. Numărul buletinului
   c. Numărul încercărilor
   d. Numărul oscilogramelor
2. Aparatul de încercat
   a. Tipul
   b. Specificaţia fabricii constructoare
   c. Fabrica constructoare
   d. Numărul fotografiilor
   e. Numărul desenelor
3. Valori garantate de fabrica constructoare
   a. Numărul înfăşurărilor
   b. Tensiuni nominale
   c. Curenţi nominali
   d. Frecvenţa
   e. Curenţi de scurtcircuit garantaţi
4. Condiţii de încercare
   a. Numărul fazelor
   b. Factorul de putere al circuitului de alimentare
   c. Frecvenţa sursei
   d. Tratarea neutrului sursei de alimentare (pus la pămînt sau izolat)
   e. Tratarea neutrului transformatorului de încercat (pus la pămînt sau izolat)
   f. Punctul de scurtcircuit (pus la pămînt sau izolat)
   g. Schema circuitului de încercare
5. Standardul, prescripţia sau norma internă departamentală după care s-a efectuat încercarea
6. Curentul de scurtcircuit realizat la probă
   a. Valoarea (valorile) eficace ($kA_{ef}$)
   b. Valoarea (valorile) de vîrf ($kA_{max}$)
   c. Durata (s)
   d. Căderile de tensiune în înfăşurări
7. Starea transformatorului înainte şi după proba de scurtcircuit brusc şi comportarea lui în timpul acestei probe
   a. Starea transformatorului înainte de probă
   b. Comportarea în timpul încercării
   c. Starea transformatorului după încercări
   d. Observaţii generale

**Bibliografie**

[ 1] Oliver, J. *The significance of short-circuit testing power transformers.* IEEE Conf. Rec. Int. Symp. High Power Test, Portland Ore, 1971, New York, 1971, p. 161—166.

[2] S a l g u e s, F. E. *Short-circuit test performed by „Electricité de France" on large transformers.* IEEE Conf. Rec. Int. Symp. High Power Test, Portland Ore, 1971, New York, 1971, p. 43–49.

[3] T o u r n i e r, Y. *Les essais de tenue au court-circuit des grands transformateurs et autotransformateurs.* Comunicări I.C.P.E., 1970.

[4] S t e n k v i s t, E. ş.a. *Connaissances actuelles sur la faculté de résistance au court-circuit de transformateurs de grande puissance, et commentaire des normes en vigueur.* Raport CIGRE, 1956, nr. 106.

[5] P i c h o n, A. ş.a. *Problèmes de tenue au court-circuit des transformateurs.* Raport CIGRE, 1958, nr. 155.

[6] T o b s e k e, L. *Problèmes de court-circuit dans les grands transformateurs.* Raport CIGRE, 1962, nr. 142.

[7] M a t e r s, N. ş.a. *Essais en court-circuit des transformateurs de puissance avec détection et localisation des avaries.* Raport CIGRE, 1968, nr. 12–05.

[8] T o u r n i e r, Y. *Tenue des grands transformateurs au court-circuit, éxigences de réseaux de transport d'énergie et problèmes posés par la construction et les essais.* Colectiv CIGRE, 1971.

[9] * * * *Power transformers, with regard to ability to withstand short-circuit.* Document CEI, 12 (Secretariat) 83, februarie 1971.

[10] * * * *Transformateur de puissance* (Proces-verbal al reuniunii CEI de la Bruxelles 14–18 iunie 1971) P.V. 1396/CE, 14 august 1971.

[11] * * * *Transformatori silovie. Metodi ispîtanii. Ispitaniia na elektrodinamiceskuiu ustoicivosti pri korotkih zamîkaniah.* Proiect de recomandare CAER, Budapesta, 1971.

[12] * * * *Prüfung von Transformatoren ab 6,3 kVA.* TGL 200 1584–68.

[13] * * * *Transformatoare de putere. Metode de încercare.* STAS 3035-65.

[14] * * * *Rules for the short-circuit testing of power transformers, current transformers, reactors and resistors.* ASTA 12–67.

[15] M á t h é, B. *O metodă de defectoscopie a izolaţiei transformatoarelor.* Comunicări tehnice. Electroputere — Craiova, 1963.

[16] M á t h é, B. *Încercarea transformatoarelor*, vol. I. Editura tehnică, Bucureşti, 1966.

[17] M á t h é, B. şi C î r s t e a, D. *Modificarea spectrului cîmpului magnetic de dispersie la apariţia unui defect între spirele înfăşurării transformatorului.* Comunicări tehnice. Electroputere — Craiova, decembrie, 1963, p. 20–27.

**(Articol intrat în redacţie la 28 iunie 1972)**

# Estimarea puterii reactive în scopul compensării la instalaţii cu acţionări reglabile cu tiristoare şi recuperare de energie

**Ing. Şt. Gârlaşu** *)

Instalaţiile energetice realizate cu acţionări reglabile cu tiristoare şi cu recuperarea energiei, cum sînt standurile hidraulice de încercare a modelelor de turbine, tunelurile aerodinamice etc., au un pronunţat caracter reactiv. La astfel de instalaţii energia reactivă este formată din:

a) energia reactivă corespunzătoare elementelor inductive: reactanţa liniei de transport şi reactanţa înfăşurărilor transformatoarelor de reţea;

b) energia reactivă imprimată de comandă, provocată de întîrzierea la aprindere (a intrării în stare de conducţie) a tiristoarelor;

c) energia reactivă datorată armonicilor superioare (efectul deformant), ca urmare a conductibilităţii unilaterale a supapelor.

Efectul energiei reactive asupra instalaţiei energetice şi reţelei se manifestă prin furnizarea energiei la un factor de putere scăzut şi conduce la deformarea curenţilor de linie şi a tensiunii în punctul de alimentare la reţeaua energetică.

La astfel de instalaţii compensarea energiei reactive se impune atît din punctul de vedere al furnizorului cît şi din cel al consumatorului de energie, astfel încît este inutil să se mai sublinieze oportunitatea acestei compensări [1], [2].

Evaluarea energiei reactive inductive totale se face ţinînd seama de particularităţile constructive ale schemei de alimentare a acţionărilor reglabile şi ale dispozitivului de recuperare, în condiţiile de funcţionare a instalaţiei tehnologice în ansamblu. În aceste cazuri, calculele tehnico-economice pentru determinarea puterii reactive capacitive instalate şi a eficienţei economice a compensării nu se mai pot efectua după Instrucţiunea M.E.E. nr. 147/11 februarie 1967.

## Estimarea energiei reactive

În principiu instalaţiile cu acţionări reglabile, cu sau fără recuperare de energie, funcţionează pe o plajă largă de variaţie a curentului activ, în funcţie de cerinţele tehnologice. Astfel, la încercările pentru determinarea caracteristicilor energetice şi cavitaţionale ale unui model de turbină, pentru elaborarea caracteristicii universale a modelului este necesar să se realizeze regimuri staţionare de debit, cădere, înălţime de aspiraţie şi cuplu motor, în vederea determinării randamentului.

Aceeaşi problemă se pune şi în cazul instalaţiilor aerodinamice la care se realizează condiţii de regim staţionar pentru viteza aerului în tunel, în scopul experimentărilor asupra ventilatoarelor axiale sau asupra profilelor aerodinamice.

În situaţia în care acţionările reglabile sînt constituite în principal din maşini de curent

*) Ştefan Gârlaşu este cercetător principal la Institutul de cercetări şi proiectări de echipamente hidroenergetice — Reşiţa, filiala Timişoara.

continuu alimentate cu tiristoare, există posibilitatea de a realiza regimuri staţionare de viteză a motoarelor pe o gamă largă. De asemenea, în cazul în care instalaţia tehnologică este prevăzută cu recuperare de energie, prin intermediul invertoarelor, se stabilesc regimuri staţionare pentru puterea activă recuperată şi debitată înapoi la reţea. La aceste instalaţii, la care puterea activă este fixată cu ajutorul comenzii pe grilele de comandă ale tiristoarelor, există o interdependenţă între curentul activ şi cel reactiv de pe linia de alimentare de medie tensiune, în funcţie de unghiul de comandă la aprindere.

În figura 1 este indicată schema tehnologică a unei staţiuni de încercări pentru modele de turbine, formată dintr-un circuit hidraulic cu două pompe centrifugale şi o turbină hidraulică.

Pompele sînt acţionate cu motoare de curent continuu, prin redresoare comandate, care permit modificarea tensiunii rotorice de la valoarea zero la valoarea maximă, asigurînd un domeniu larg de variaţie a turaţiei pompelor.

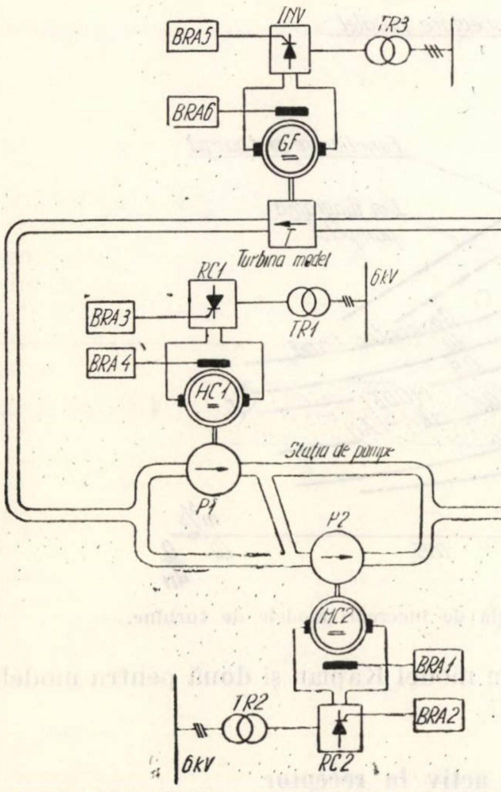



Fig. 1. Circuitul hidraulic cu acţionările reglabile folosind tirist oare.

Redresorul comandat este format din două mutatoare în punte trifazică, conectate în serie (fig. 2), dintre care unul cu tiristoare şi celălalt cu diode, alimentate de la acelaşi transformator, cu două secundare separate. Modelul de turbină este cuplat cu un generator de curent continuu cu rotorul basculant şi conectat în circuitul rotoric la un invertor realizat în punte trifazică, montaj care permite încărcarea turbinei, reglarea turaţiei şi recuperarea energiei active produse de turbină.

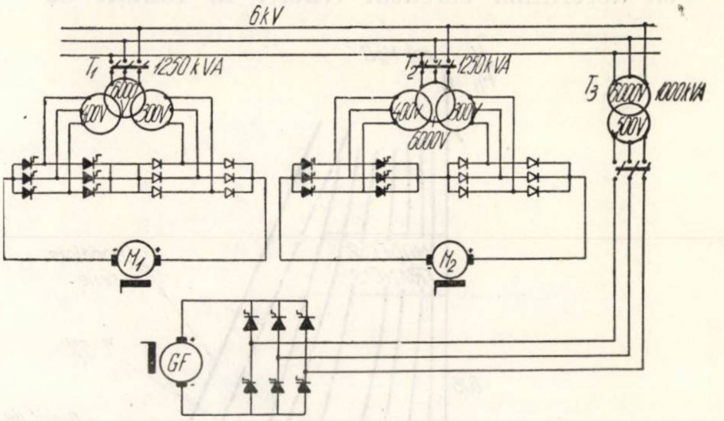



Fig. 2. Schema acţionărilor cu tiristoare la standul de garanţie.

În principiu, oricare ar fi schema tehnologică, pentru evaluarea puterii reactive, se poate proceda în felul următor:

*Consumatori de energie activă*

Plecînd de la regimul tehnologic propus pentru determinarea unui punct figurativ din planul fazelor (caracteristica universală), avînd la dispoziţie caracteristicile funcţionale şi energetice ale receptorului de energie, pentru un regim staţionar, se determină puterea activă, respectiv curentul activ de linie pe reţeaua de medie tensiune de alimentare.

Cunoscînd caracteristica redresorului comandat în care se exprimă dependenţa curentului reactiv în funcţie de cel activ pentru diverse valori ale unghiului de comandă, se determină curentul reactiv şi respectiv puterea reactivă absorbită de la reţea pentru regimul tehnologic staţionar stabilit.

Trebuie remarcat faptul că în cazul consumatorilor de energie activă sensul energiei active şi reactive este dirijat dinspre reţea spre consumator.

*Recuperator de energie activă*

Turaţia şi cuplul motor, dezvoltate de modelul de turbină sau de morişcă, se stabilesc în cadrul procesului de măsurare pentru elaborarea caracteristicii universale. Puterea activă produsă la arborele motorului primar se transferă la reţea prin intermediul invertorului.

Din caracteristica staţiunii care exprimă dependenţa căderii $H$ în funcţie de debitul $Q$, pentru regimul de funcţionare ales, la un $Q$ şi un $H$ date, se determină valoarea puterii active $P$, disponibilă la axul turbinei, cunoscînd valoarea parametrului curbei de egală putere,

reprezentată în plan prin hiperbole echilaterale (fig. 3).

Din caracteristica circulară a invertorului se determină curentul reactiv în funcție de curentul activ în linia de alimentare de medie tensiune (6—20 kV).

Se remarcă faptul că, deși puterea activă are sensul de la instalația energetică spre rețea, puterea reactivă corespunzătoare are sensul invers, dinspre rețea spre instalație.

Pentru anumite puncte figurative din spațiul parametrilor, în funcție de domeniul de exploatare al caracteristicii universale pentru un model dat de turbină, se determină puterea reactivă ce însoțește puterea activă cerută de necesitățile tehnologice, pentru fiecare regim staționar realizat.

De obicei, explorarea domeniului de funcționare, în vederea determinării caracteristicilor energetice ale modelului de turbină se realizează variind în mod liniar debitul $Q$, la valoare constantă a căderii $H$. În figura 3 sînt evidențiate trei domenii de încercări, unul pentru un model Kaplan și două pentru modele Francis.

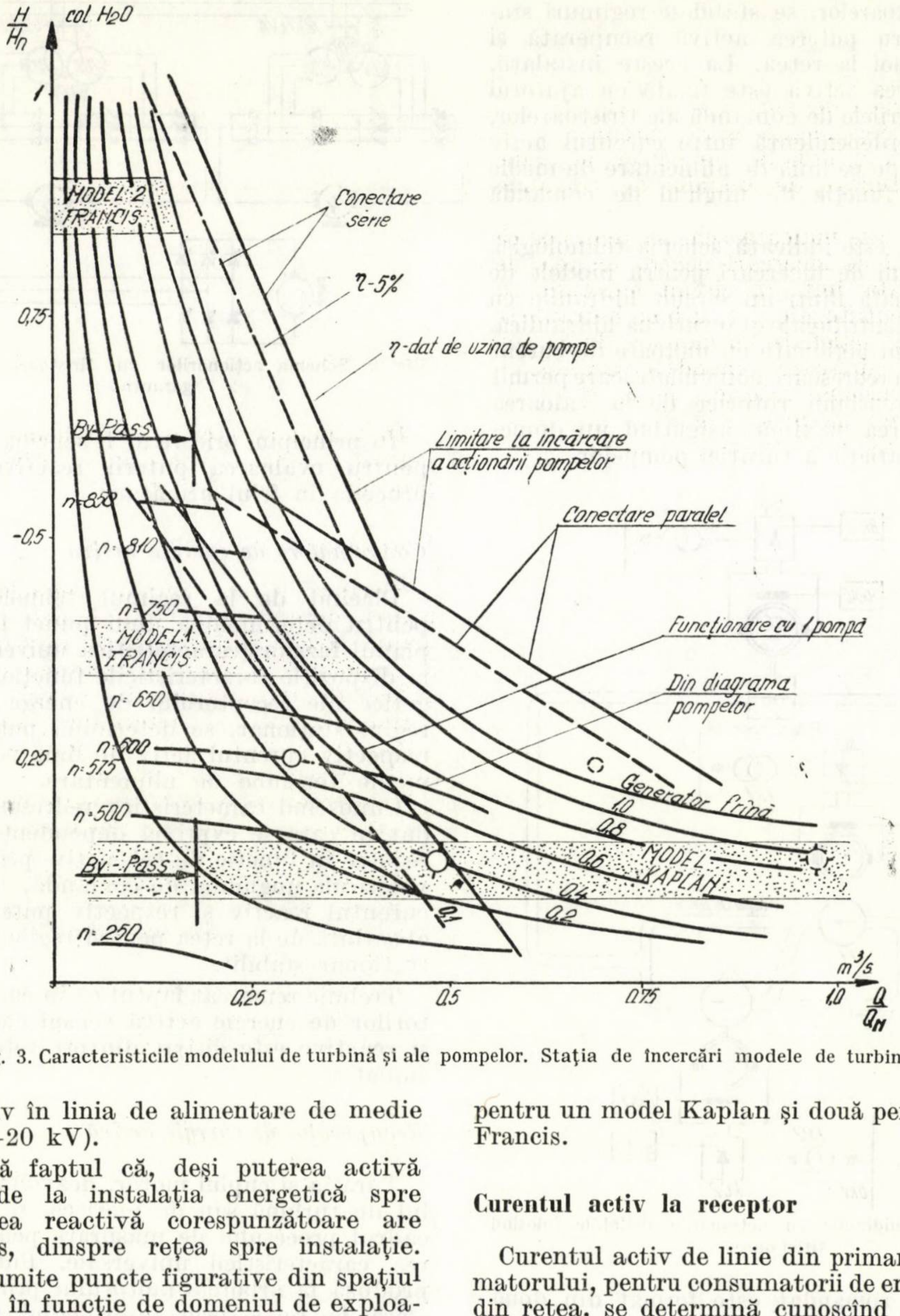



Fig. 3. Caracteristicile modelului de turbină și ale pompelor. Stația de încercări modele de turbine.

## Curentul activ la receptor

Curentul activ de linie din primarul transformatorului, pentru consumatorii de energie activă din rețea, se determină cunoscînd caracteristicile funcționale și tehnologice ale acestora. Pentru instalația indicată în figura 1, curentul activ al mutatoarelor pentru alimentarea pompelor centrifugale se determină pornind de la caracteristicile pompelor trasate pe diagrama tehnologică, din care se deduc turația și puterea, în funcție de debitul și de căderea cerută de

tand, corespunzător schemei de conectare a stațiunii de pompare, în funcționare cu o singură pompă, cu două pompe în serie sau cu două pompe în paralel.

Modificarea vitezei pompelor se face prin varierea tensiunii la bornele indusului:

$$\Omega_0 = \frac{U_{d\alpha}}{K} \qquad (1)$$

în care

$\Omega_0$ este viteza în gol ideal a pompei;

$U_{d\alpha}$ — tensiunea furnizată de mutatorul comandabil și aplicată la bornele indusului motorului de curent continuu;

$K = \frac{pN\Phi}{2\pi a}$ — constanta motorului de curent continuu,

unde

$p$ este numărul de perechi de poli;

$a$ — numărul de perechi de căi de curent;

$\Phi$ — fluxul magnetic al mașinii;

$N$ — numărul conductoarelor mașinii.

În sarcină, la cuplul rezistent $C$ și curentul $i$, turația va fi:

$$\Omega = \Omega_0\left[1 - \frac{R_i\, i}{U_{d\alpha}}\right] = \Omega_0\left[1 - \frac{R_i\, C_s}{KU_{d\alpha}}\right] \qquad (2)$$

unde $C_s = K \cdot i$, cuplul rezistent, care în cazul regimului staționar este egal cu cuplul motor $C$, $C_s = C$:

$$C = \frac{P}{\Omega} \qquad (3)$$

în care $P$ este puterea la arborele motorului de curent continuu, ($\Omega = 2\,\pi N/60$ — pulsația axei motorului, rad/s).

Din diagrama $Q = f(H)$, corespunzător punctului de funcționare ales, la turația și puterea necesară a motorului de curent continuu, utilizînd relațiile (1), (2) și (3), se determină tensiunea redresată $U_{d\alpha}$, necesară la bornele indusului.

Curentul redresat, furnizat de redresorul comandat, va fi:

$$I_{d\alpha} = \frac{P}{U_{d\alpha}} \qquad (4)$$

În cazul redresorului cu o punte trifazică cu tiristoare, curentul activ de linie din primarul transformatorului $I_a$ este:

$$I_a = \sqrt{\frac{2}{3}}\, I_{d\alpha}\, \frac{U_2}{U_1} \qquad (5)$$

În acest caz, unghiul $\alpha$ de comandă variază de la 0 la $\frac{\pi}{2}$ și curentul reactiv se determină prin relația:

$$I_r = \mathrm{tg}\alpha \cdot I_a \qquad (6)$$

Acest tip de mutator este dezavantajos din punctul de vedere al absorbției de energie reactivă de la rețea (curent reactiv mare, la curent activ mic), motiv pentru care se utilizează redresorul format din două mutatoare conectate în serie, unul cu diode și furnizînd tensiunea $U_{i2}$ și altul cu tiristoare, în regim de redresor și invertor, cu tensiunea $U_{d1\alpha}$, la care unghiul de comandă variază de la 0 la maximum 150° (fig. 4).

Transformatorul de alimentare are două secundare, $U_2'$ și $U_2''$, astfel că suma curenților activi de linie la receptor se determină prin relația, pentru sarcina maximală:

$$I_a = \sqrt{\frac{2}{3}}\, I_{d\,max}\, \frac{U_2' + U_2''}{U_1} \qquad (7)$$

**Curentul activ la recuperator**

Curentul primar activ $I_a'$ în transformatorul invertorului de recuperare se determină în funcție de puterea prescrisă la axul mașinii de recuperare:

$$I_a' = \frac{P_m}{U_{di}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{U_1}{U_2} = A P_m \qquad (8)$$

în care

$P_m$ este puterea la axul mașinii recuperatoare (turbină, motor eolian);

$A$ — o constantă.

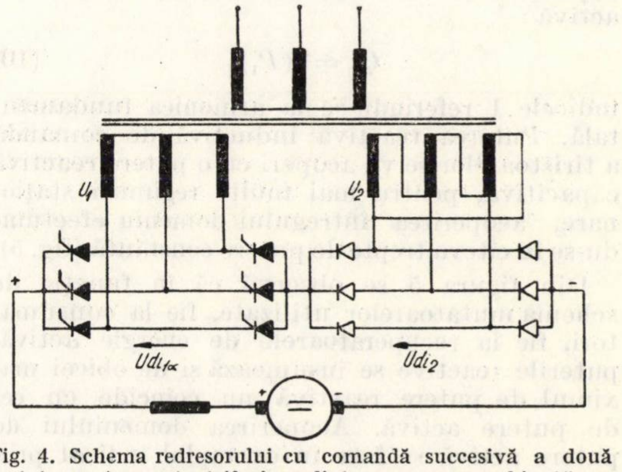



**Fig. 4. Schema redresorului cu comandă succesivă a două mutatoare în punte trifazice, dintre care una echipată cu tiristoare și alta cu diode. Schema se numește în montaj fază-antifază cu șase pulsuri.**

$$U_1 = KU_2 \quad U_{di1} = KU_{di2} \quad U_{di\alpha} = U_{di2} + U_{di}\alpha_1$$

$$U_{di2} + U_{di1}\cos\alpha_{1max} = 0 \Rightarrow K = -\frac{1}{\cos\alpha_{1max}} = 1{,}15;$$

$$\alpha_{1max} = 150°$$

$$U_{di\alpha} = \frac{U_{di1}}{K} + U_{di1}\cos\alpha_1 = U_{di1}\left[\frac{1}{K} + \cos\alpha_1\right]$$

$$\alpha = 0; \Rightarrow U_{di} = U_{di1}\left[\frac{1}{K} + 1\right] = 1{,}87\ U_{di_1}; \quad K = 1{,}15$$

$$U_{di1} = \frac{K}{K+1}\, U_{di}$$

Din diagrama $Q = f(H)$ în punctul de funcționare se stabilește prin interpolare valoarea parametrului curbei de egală putere $P_m$ ce trece prin punctul considerat. Din (8) se determină curentul activ de linie pe care instalația îl cedează rețelei energetice.

În funcție de $I'_a$, printr-o relație de forma (6) sau din diagramă se determină curentul de linie reactiv pe barele de medie tensiune $I'_r$.

**Puterea reactivă**

Cunoscînd valorile curenților reactivi de linie pentru receptori și recuperator, se determină curentul reactiv total absorbit :

$$I_{rt} = I_r + I'_r \qquad (9)$$

și se poate evalua puterea reactivă $Q$ absorbită de instalație :

$$Q = \sqrt{3} \cdot I_{rt} U_1, \qquad (9')$$

unde $U_1$ este tensiunea pe barele de medie tensiune.

**Compensarea energiei reactive**

Energia reactivă de comandă odată determinată pentru diversele regimuri staționare ale instalației tehnologice în funcție de puterea activă cerută, se poate trasa o curbă caracteristică pentru domeniul de încercări stabilit, exprimînd puterea reactivă în funcție de puterea activă :

$$Q_1 = f(P_1), \qquad (10)$$

indicele 1 referindu-se la armonica fundamentală. Puterea reactivă inductivă de comandă a tiristoarelor se va acoperi cu o putere reactivă capacitivă, pentru mai multe regimuri staționare, acoperirea întregului domeniu efectuîndu-se în cîteva trepte de putere constantă (fig. 5).

Din figura 5 se observă că în funcție de schema mutatoarelor utilizate, fie la consumatori, fie la recuperatoarele de energie activă, puterile reactive se însumează și de obicei maximul de putere reactivă nu coincide cu cel de putere activă. Acoperirea domeniului de putere activă se face în exemplul indicat prin șase trepte de putere reactivă capacitivă.

Dimensionarea bateriilor se poate face după două criterii.

*Criteriul compensării complete*

Cînd procesul tehnologic se desfășoară în sensul creșterii treptate și uniforme a puterii active, de la zero la valoarea maximă, puterea reactivă variază în sensul indicat în figura 5. Se stabilesc $m$ domenii cu puteri constante, instalate de condensatoare, de valori astfel determinate, încît ariile de supracompensare (+) să fie egale cu cele subcompensate (—). La o parcurgere completă a procesului s-ar realiza o compensare medie relativ ridicată. Acest criteriu conduce la valori mari ale puterii instalate de condensatoare și la funcționări

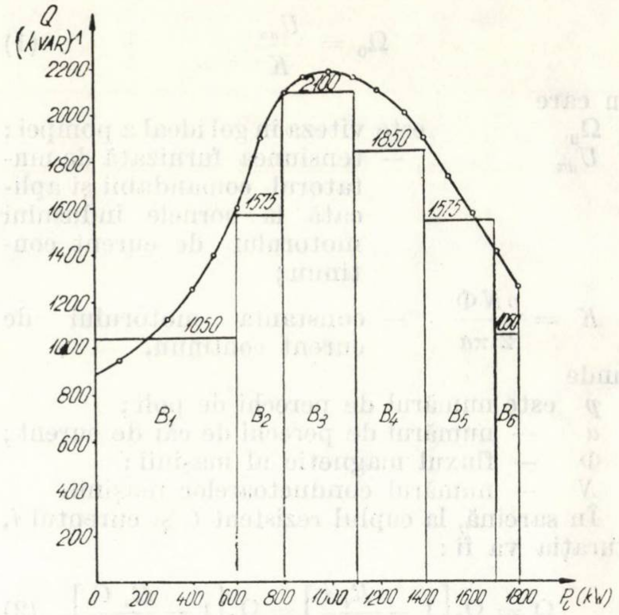



Fig. 5. Acoperirea necesarului de putere reactivă capacitivă prin trepte de baterii de condensatoare.

ale instalației energetice în regim supracompensat, cînd o parte din energia reactivă-capacitivă este debitată la rețea.

*Criteriul subcompensării*

Se dimensionează bateriile în așa fel, încît puterea reactivă-capacitivă să nu depășească puterea reactivă-inductivă ce trebuie compensată, astfel că în permanență instalația va avea un caracter inductiv. Se determină pentru anumite valori echidistanțate ale puterii active, din caracteristica $Q_1 = f_1(P_1)$, factorul de putere compensat :

$$\cos\varphi_{comp.\,i} = \cos \operatorname{arc\,tg} \frac{Q_{1i} - Q_{ci}}{P_{1i}} \qquad (11)$$

în care $i$ este un punct curent al caracteristicii.

În ipoteza că instalația tehnologică este astfel exploatată încît pentru fiecare regim staționar durata experimentării este aceeași, se poate defini un factor de putere mediu compensat pentru cele $n$ experimentări :

$$\cos\varphi_{med.\,comp.} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \cos\varphi_{comp.\,i}}{n} \qquad (12)$$

$$\cos\varphi_{med.\,comp.} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \cos \operatorname{arc\,tg} \frac{Q_{1i} - Q_{ci}}{P_{1i}} \qquad (13)$$

**Eliminarea armonicilor superioare**

În literatura de specialitate [1], [2], [3], [4], se arată că la compensarea puterii reactive pe barele de medie tensiune nu este permisă conectarea directă a condensatoarelor la bare, din cauza pericolului de rezonanță a capacității cu rețeaua energetică, care are caracter inductiv.

Mutatoarele constituie pentru rețeaua energetică o sursă de oscilații de tensiuni și curenți de frecvențe superioare, ca urmare a fenomenului de conductivitate unidirecțională a supapelor.

Frecvența acestor oscilații este:

$$\nu = kp \pm 1;\; k = 1,\, 2,\, 3,\ldots \qquad (14)$$

în care

$\nu$ este ordinul armonicii superioare;
$p$ — pulsul mutatorului;
$k$ — număr întreg și pozitiv.

Pentru suprimarea armonicilor superioare de pe barele de medie tensiune se utilizează circuite rezonante serie, acordate pe armonicile $\nu$, formate din condensatoare conectate în serie cu bobine de reactanță.

La rezonanță impedanța acestor circuite este nulă (dacă se neglijează rezistența ohmică a bobinei), efectuîndu-se astfel îndepărtarea curenților armonicilor superioare de la barele de medie tensiune.

La frecvența fundamentală, reactanța acestor circuite este capacitivă, astfel că acestea realizează compensarea puterii reactive-inductive, concomitent cu suprimarea armonicilor superioare.

Pentru frecvențele superioare, schema echivalentă a circuitului apare ca o sursă de tensiune alternativă la care se conectează în paralel circuitele rezonante serie și inductanța echivalentă a rețelei. La variația frecvenței sursei, la anumite frecvențe, se poate produce rezonanța circuitului derivație echivalent, cînd admitanța totală, formată din suma admitanțelor conectate în paralel la sursă, se anulează:

$$\underline{Y} = \sum_{\nu} \underline{Y}_{\nu} + \underline{Y}_{R} = 0 \qquad (15)$$

în care

$\underline{Y}$ este admitanța totală;
$\underline{Y}_{\nu}$ — admitanța circuitului acordat pe frecvența $\nu$;
$\underline{Y}_{R}$ — admitanța echivalentă a sistemului energetic la barele de medie tensiune.

Dimensionarea bateriei de condensatoare se va face de așa manieră, încît condiția (15) să nu fie îndeplinită pentru frecvențe multiple întregi ale frecvenței rețelei. Pentru evitarea rezonanței la frecvențe $\nu f_1$, se modifică $C\nu$, capacitatea instalată în filtrul $\nu$ respectînd condiția de rezonanță a filtrului:

$$\omega_{\upsilon}^2\, C_{\nu} L_{\nu} = 1 \qquad (16)$$

prin modificarea corespunzătoare a lui $L_{\nu}$, astfel încît (15) să devină o inegalitate.

Dimensionarea bateriei de condensatoare pentru filtre se face cunoscînd curentul reactiv total de linie pentru armonica fundamentală, $I_{r1}$, cu care se determină curenții armonicilor superioare, în ipoteza neglijării efectului de comutație:

$$I_{r\nu} = \frac{I_{r1}}{\nu}, \qquad (17)$$

valori necesare pentru dimensionarea bateriei după relația lui Hoffmann [3], [4]:

$$C_{\nu} = \sqrt{\frac{m}{\nu}} \cdot \frac{I_{r\nu}}{a\,\omega_1 U_1} \qquad (18)$$

în care

$m$ este raportul dintre puterea reactivă a capacității la frecvența fundamentală și puterea la frecvența $\nu$;
$a = \frac{\nu^2}{\nu^2 - 1}$ — coeficientul de supratensiune;
$w_1, f_1$ — pulsația, respectiv frecvența, armonicii fundamentale.

Pentru filtrul $\nu$, cu capacitatea $C_{\nu}$, puterea reactivă capacitivă $Q_{c\nu}$ se determină din:

$$Q_{c\nu} = Q_1 + Q_{\nu}, \qquad (19)$$

unde

$$Q_1 = a^2\, U_1^2\, \omega_1\, C_{\nu} \qquad (20)$$

și

$$Q_{\nu} = \frac{I_{\upsilon}^2}{\nu\omega_1 C_{\nu}} \qquad (21)$$

*Observație*. Puterea reactivă datorată efectului de comutație nu este luată în considerare la stabilirea puterii reactive globale, deoarece se prevede ca instalația să fie exploatată la curenți mai mici de 1,5 $I_n$ (curentul nominal), pînă la care se apreciază că efectul de comutație este puțin important.

În literatura de specialitate [5] se arată că, în ansamblu, energia reactivă calculată după teoria convențională a mutatoarelor pentru astfel de situații este practic egală cu suma dintre energia reactivă calculată după teoria conductivității reale a mutatoarelor și energia reactivă corespunzătoare efectului de comutație.

### Factorul de putere optim al instalaţiei

Procedînd la determinarea capacităţilor $C_\nu$ pentru circuitele filtrante (de exemplu, $\nu = 5$, 7, 11 şi 13), se determină capacitatea totală instalată a bateriei de condensatoare:

$$C_B = \sum_\nu C_\nu \quad (22)$$

şi puterea reactivă maximală:

$$Q_B = \sum_\nu Q_{c\nu} \quad (23)$$

De menţionat că la dimensionarea circuitelor filtrante trebuie să se ţină seama de suprasolicitările la tensiune, curent şi energie înmagazinată, la ordinea de conectare şi la comportarea în regim tranzitoriu [2]. Inductanţa $L_\nu$ se determină din (15) şi este de ordinul 2–10 mH. Este necesar să se asigure măsurile de protecţie corespunzătoare.

Pentru realizarea unor trepte de puteri reactive capacitive în scopul compensării se poate proceda în două moduri:

— Se reduce capacitatea bateriei de $k$ ori şi cu acelaşi număr se măreşte valoarea inductanţei, pentru a se menţine constantă frecvenţa de rezonanţă. De obicei $k = 2$.

— Se renunţă succesiv la circuitele filtrante ale armonicilor cu $\nu$ ridicat, cu condiţia ca factorul de distorsiune sau conţinutul în armonici al curentului de linie să nu depăşească 5%.

Aplicînd unul dintre aceste procedee sau o combinaţie a lor se realizează acoperirea domeniilor indicate în figura 5.

Sub aspect economic instalaţia de compensare se va proiecta şi executa în conformitate cu soluţia cea mai avantajoasă, rezultată din compararea a cel puţin două variante propuse, în care trebuie să se ţină seama de cheltuielile de investiţii, de costurile anuale de exploatare şi de economia de combustibil în centrale, ca urmare a compensării energiei reactive.

Ţinînd seama de aceşti factori tehnici şi economici se dimensionează bateriile de condensatoare pentru întregul domeniu de variaţie a curentului activ. Pentru diferite zone de experimentări, fişii orizontale în planul $QH$, se determină din (13) valoarea factorului de putere mediu compensat $\cos\varphi_{med.\,comp.i}$, corespunzător fişiei $i$ şi, în final, pentru $p$ fişii se determină un factor mediu compensat pentru instalaţie:

$$\cos\varphi_{med.\,inst} = \frac{1}{p}\sum_{i=1}^{p} \cos\varphi_{med.\,comp.\,i} \quad (24)$$

În cazul în care $\cos\varphi_{med.\,inst.} < 0{,}95$, [7] se solicită de la organele M.E.E., pe baza unui memoriu tehnic documentat, aprobarea pentru funcţionarea instalaţiei la valoarea rezultată din (24).

$\cos\varphi_{med.\,inst}$ este denumit şi factor de putere optim al instalaţiei tehnologice.

### Exemplu

**O instalaţie cu acţionări reglabile cu tiristoare şi cu recuperare de energie (fig. 1 şi 2) este alimentată de la bara de 6 kV prin trei transformatoare, două pentru redresoarele comandate ale acţionării a două pompe şi unul pentru instalaţia de recuperare a energiei produsă de modelul de turbină.**

**Redresorul comandat, care furnizează un curent continuu maximal de 1 000 A la 770 V, pentru alimentarea motorului de antrenare a pompei, este format din două mutatoare înseriate, un redresor în punte trifazică cu diode, ce asigură un curent continuu fix de 40 A, şi un mutator ($\alpha$ variind de la zero la 145°) cu tiristoare, la care variază tensiunea redresată şi care livrează un curent activ maxim de 53 A (fig. 6).**

**Invertorul pentru recuperare (fig. 7) poate admite un curent activ la 67 A.**

**Din diagramele din figurile 6 şi 7 se determină curentul maxim reactiv absorbit din reţea, considerînd funcţionarea staţiei de pompare cu două pompe:**

$$I_r = 2.53 + 67 = 173\ \text{A}$$

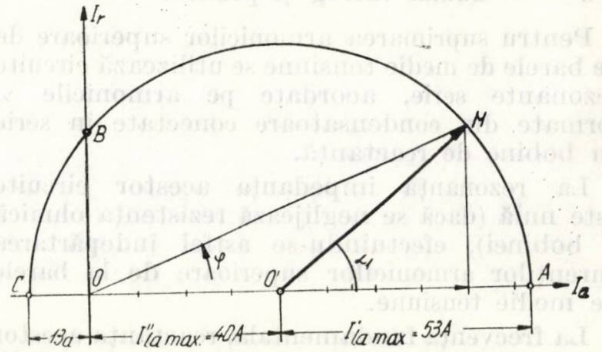



**Fig. 6. Aplicaţie la o instalaţie pentru care $I'_{La\,max} = 53$ A şi $I''_{La\,max} = 40$ A în linia de 6 kV.**

$$k = \frac{53}{40} = 1{,}32$$

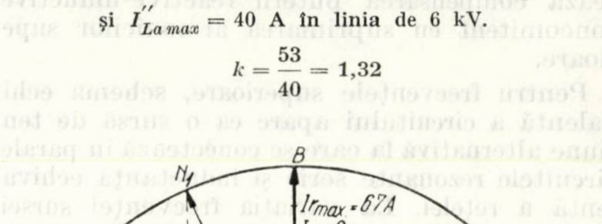



**Fig. 7. Aplicaţie la invertorul de recuperare avînd $I_{a\,max} = 67$ A în linia de 6 kV.**

**Se determină puterea reactivă maximală a bateriei de condensatoare:**

$$Q_1 = 3\ U_1 I_r = 3 \cdot 6\,000 \cdot 173 = 1\,800\ \text{kvar}$$

**Această putere se majorează dacă se ţine seama de armonicile superioare.**

Admiţînd pentru simplificare şi în vederea unui calcul acoperitor că armonicile satisfac relaţia (17), se determină curenţii $I_{r\nu}$, iar cu ajutorul relaţiei (18) se stabilesc capacităţile $C_\nu$ şi, respectiv, puterile reactive instalate $Q_{c\nu}$.

*Tabelul 1*

| Mărimea \ Filtrul ν | 5 | 7 | 11 | 13 |
|---|---|---|---|---|
| $I_{r\nu}$, A | 35 | 25 | 15,5 | 13,3 |
| $C_\nu$, μF | 84 | 42 | 24 | 18 |
| $L_\nu$, mH | 4,8 | 4,54 | 3,5 | 5,86 |
| $Q_{c\nu}$, kvar | 1 050 | 525 | 300 | 225 |

Puterea instalată

$$Q_B = \sum_\nu Q_{c\nu} = 2\ 100 \text{ kvar}$$

S-au prevăzut condensatoare FCME de tipul CS – 3,64/6,3–50–1 de 12 μF şi de tipul CS–3,64/6,3–25–1 de 6 μF. Pentru reactanţe s-au prevăzut bobine GUAME–Craiova de tipul BR–6–200, completate cu prize terminale pentru realizarea acordului.

Prin comutare capacitatea filtrului ν = 5, se poate reduce la jumătate, la 42 μF, cu inductanţa dublată (9,6 mH), astfel că puterea $Q_5' = 525$ kvar.

Cu aceste elemente se pot realiza treptele de puteri reactive de compensare din tabelul 2.

*Tabelul 2*

**Puterea reactivă instalată pe trepte de compensare**

| Treapta | $Q_5$ | $Q_5'$ | $Q_7$ | $Q_{11}$ | $Q_{13}$ | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| I | — | 525 | — | — | — | 525 |
| II | — | 525 | 525 | — | — | 1 050 |
| III | — | 525 | 525 | 300 | 225 | 1 575 |
| IV | 1 050 | — | 525 | 300 | — | 1 875 |
| V | 1 050 | — | 525 | 300 | 225 | 2 100 |

Cu aceste date se întocmeşte tabelul 3, în care se evidenţiază puterea activă cerută ca variabilă independentă, puterea reactivă absorbită de la reţea în regim necompensat, puterea capacitivă instalată, factorul de putere în regim necompensat şi cel în regim compensat. Puterea activă maximă necesară este de 1 800 kW.

*Tabelul 3*

| Numărul regimurilor staţionare | Puterea activă cerută, kW | Puterea reactivă absorbită, kvar | Puterea reactivă capacitivă instalată, kvar | cos $\varphi_{nk}$ (necompensat) | cos$\varphi_{comp.k}$ (compensat) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 100 | 950 | 1 050 | 0,10453 | +0,45140 |
| 2 | 200 | 1 000 | 1 050 | 0,19652 | +0,97030 |
| 3 | 300 | 1 100 | 1 050 | 0,27284 | −0,98629 |
| 4 | 400 | 1 250 | 1 050 | 0,30625 | −0,89493 |
| 5 | 500 | 1 400 | 1 050 | 0,33655 | −0,81915 |
| 6 | 600 | 1 600 | 1 575 | 0,35293 | −0,99917 |
| 7 | 700 | 1 750 | 1 575 | 0,37191 | −0,97030 |
| 8 | 800 | 2 100 | 2 100 | 0,33655 | +1,00000 |
| 9 | 900 | 2 150 | 2 100 | 0,38805 | −0,99878 |
| 10 | 1 000 | 2 175 | 2 100 | 0,41734 | −0,99714 |
| 11 | 1 100 | 2 150 | 2 100 | 0,45658 | −0,99878 |
| 12 | 1 200 | 2 050 | 1 850 | 0,50503 | −0,98629 |
| 13 | 1 300 | 1 950 | 1 850 | 0,55436 | −0,99714 |
| 14 | 1 400 | 1 850 | 1 850 | 0,61795 | +1,00000 |
| 15 | 1 500 | 1 750 | 1 575 | 0,65166 | −0,99324 |
| 16 | 1 600 | 1 600 | 1 575 | 0,70711 | −0,98814 |
| 17 | 1 700 | 1 400 | 1 575 | 0,76977 | +0,97934 |
| 18 | 1 800 | 1 150 | 1 050 | 0,84182 | −0,99847 |

Pentru acest program de încercări se determină, folosind valorile din coloana a şasea, factorul de putere mediu compensat (domeniul *1*)

$$\cos\varphi_{med.\,comp.\,i} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} \cos\varphi_{comp.\,k} = 0{,}97194 \quad (i = 1),$$

în care s-au luat în considerare numai valorile pentru regimurile necompensate complet (indicate în tabel cu semnul −, faţă de cele supracompensate, indicate cu semnul +).

După procedeul indicat se efectuează calculul pentru alte domenii şi cu valorile găsite pentru $\cos\varphi_{med.\,comp.\,i}$ din (24) se calculează factorul de putere optim al instalaţiei.

## Concluzii

Se prezintă estimarea puterii reactive, în scopul compensării, la instalăţiile energetice care utilizează acţionări reglabile cu mutatoare şi cu recuperare de energie.

Pornind de la caractericticile tehnologice ale instalaţiei, în funcţie de puterea activă determinată de necesitatea procesului, se determină puterea reactivă cerută de la reţea şi care trebuie compensată.

Utilizînd circuite filtrante acordate pe armonicile superioare se realizează concomitent cu compensarea energiei reactive inductive şi eliminarea armonicilor superioare şi deci evitarea efectului deformant.

Se defineşte factorul de putere mediu compensat al unui domeniu de funcţionare a instalaţiei, iar pentru mai multe domenii, pentru instalaţia în ansamblu, se stabileşte un factor de putere optim.

Realizarea instalaţiei prin circuite rezonante permite ca prin trepte ale puterii reactive instalate în condensatoare să se realizeze o compensare satisfăcătoare, care să se încadreze în limitele prevăzute de legislaţia energetică în vigoare.

**Bibliografie**


[1] Bălă, C., Pomîrleanu, M. şi Bărgănanu, M. *Compensarea regimului deformant la instalaţii de redresoare echipate cu baterii de condensatoare. 1. Efectele armonicilor şi mijloace pentru diminuarea lor.* În : Studii energetice, Editura Academiei R.P.R., vol. 2, 1963.

[2] Arie, E., Nicolae, P. şi Cristea, H. *Principii de alegere a parametrilor instalaţiilor de filtrare a armonicilor.* În : Studii energetice, Editura Academiei R.P.R., vol. 2, 1963.

[3] Hoffmann, M. *Verbesserung des Leistungsfaktors und Herabsetzung von Oberschwingungen durch Siebkreise.* În : Elektrizitätswirtschaft, Heft 6, mai 1957, p. 186–191.

[4] Garabet, T., Bivol, E. şi Neagu, G. *Utilizarea redresoarelor comandate în acţionări electrice.* Editura tehnică, Bucureşti, 1969.

[5] Möltgen, G. *Netzgeführte Stromrichter mit Thyristoren, Einführung in Wirkungweise und Theorie.* Ed. II, *Verlag Siemens, Berlin, 1970.*

[6] * * * *Instrucţiuni pentru determinarea eficienţei economice a compensării consumului de putere reactivă din reţelele electrice de distribuţie exploatate de întreprinderile de electricitate.* M.E.E., Oficiul de documentare energetică, Bucureşti, 1970.


**(Articol intrat în redacţie la 21 aprilie 1972)**

# Folosirea piloţilor foraţi la construcţia reţelelor supraterane de termoficare

Ing. T. Ruzvan,
ing. M. Beldiman,
ing. Gh. Cusursuz,
şi ing. S. Usatiuc*)

Pentru suporturile reţelelor de termoficare în amplasare supraterană se folosesc în prezent fundaţii directe masive.

Acest tip de fundaţii reclamă cantităţi importante de materiale, săpături manuale mari, manoperă mare şi un timp mai îndelungat de execuţie.

Sarcinile verticale pe care le preiau reazemele de termoficare nu depăşesc 10 t la conducte cu diametrul de pînă la 700 mm, 20 t la conducte cu diametrul de pînă la 900 mm şi 40 t la conducte cu diametrul de pînă la 1 200 mm.

Aceste sarcini pot fi preluate de piloţi foraţi scurţi cu capacitatea portantă medie de 10—30 t, oferind avantaje faţă de metoda actuală, prin simplificarea tehnologiei de execuţie, micşorarea importantă a volumelor de lucrări şi a preţului de cost.

Pentru un traseu format din mai multe fire, se foloseşte un număr corespunzător de piloţi scurţi, solidarizaţi la partea superioară cu o grindă-suport; în această grindă se prind plăcile metalice de reazem pe care stau conductele, prin intermediul rolelor.

## Elemente de calcul

Fundaţiile se dimensionează în funcţie de sarcinile transmise de conducte, de capacitatea de încărcare a piloţilor, de tasările probabile şi de sensibilitatea la tasări a acestui gen de construcţii, care, la rîndul lor, sînt funcţie de stratificaţia terenului şi de caracteristicile geotehnice ale straturilor.

Piloţii pot fi purtători pe vîrf (de rezistenţă) sau flotanţi.

Capacitatea portantă (de calcul) a unui pilot se determină prin încărcări de probă, ale căror rezultate servesc la întocmirea diagramei de încărcare-tasare, din care rezultă sarcina ce poate fi preluată de un pilot.

Pentru proiectare se poate determina capacitatea portantă a unui pilot pentru sarcini verticale, folosind formula:

$$P_a = k \cdot m\,(A \cdot R_n + U \Sigma f_i \cdot l_i)$$

în care

$k$ este coeficientul de neomogenitate definit în metoda de calcul la stări limită; se ia $k = 0{,}7$;

$m$ — coeficientul condiţiilor de lucru, care se ia $m = 1$;

$A$ — suprafaţa secţiunii pilotului, m²;

$R_n$ — rezistenţa normată a pămîntului la vîrf, în funcţie de teren şi de adîncime, tf/m²;

$U$ — perimetrul pilotului, m;

$f_i$ — rezistenţa maximă de frecare dintre pilot şi pămînt, în funcţie de natura straturilor prin care trece şi de adîncime, tf/m²;

$l_i$ — grosimea stratului $i$ străbătut de pilot, m.

Considerînd un pilot forat turnat pe loc din beton armat, cu secţiune constantă şi diametrul de 50 cm, într-un teren omogen, şi anume în nisipuri fine şi prăfoase sau în pămînturi argiloase, cu $I_c = 0{,}6 - 0{,}7$, se obţin încărcările critice şi admisibile din tabelul 1.

*Tabelul 1*

**Încărcări critice şi încărcări admisibile pentru piloţi foraţi cu diametrul de 50 cm turnaţi pe loc în nisipuri fine şi prăfoase sau pămînturi argiloase cu $I_c = 0{,}6 - 0{,}7$**

$$A = \pi r^2 = 3{,}14 \times \left(\frac{0{,}5}{2}\right)^2 = 0{,}20\ \text{m}^2;\ U = 2\pi r = 1{,}57\ \text{m};$$
$$k_1 = 0{,}7;\ k_2 = 0{,}6$$

| Fişa-pilot nr. | Rezistenţa normată pe vîrf² $R_n$, t/m² | Rezistenţa la frecare, $f_i$, t/m² | Încărcarea critică $P_{cr}$, tf | | | Încărcarea admisibilă | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | pe vîrf $A \times R_n$ | lateral $U\Sigma f_i l_i$ | Total $P_{cr}$ | Teren coeziv $0{,}7\ P_{cr}$ | Teren necoeziv $0{,}6\ P_{cr}$ |
| 1 | 80 | 0,8 | 16 | 2,5 | 18,5 | 13,0 | 11,1 |
| 2 | 120 | 1,05 | 24 | 5,6 | 29,6 | 20,7 | 12,5 |
| 3 | 180 | 1,1 | 36 | 6,9 | 42,9 | 30,0 | 18,0 |
| 4 | 190 | 1,2 | 38 | 9,5 | 47,5 | 34,3 | 20,5 |
| 5 | 200 | 1,3 | 40 | 12,2 | 52,2 | 36,5 | 21,7 |
| 6 | 210 | 1,35 | 42 | 14,4 | 56,4 | 39,5 | 23,6 |

Încărcările critice şi admisibile pentru acelaşi tip de pilot, dar în mediu omogen, format din nisipuri mijlocii sau pămînturi argiloase cu $I_c = 0{,}7 - 0{,}9$, sînt arătate în tabelul 2.

*Tabelul 2*

**Încărcări critice şi încărcări admisibile pentru piloţi foraţi cu diametrul de 50 cm, turnaţi pe loc în nisipuri mijlocii sau pămînturi argiloase cu $I_c = 0{,}7 - 0{,}9$ $A = \pi r^2 = 3{,}14 \times \left(\frac{0{,}5}{2}\right)^2 = 0{,}20$ m²; $U = 2\pi r = 1{,}57$ m; $k_1 = 0{,}7$; $k_2 = 0{,}6$**

| Fişa-pilot nr. | Rezistenţa normată pe vîrf, $R_n$ t/m² | Rezistenţa la frecare, $f_i$, t/m² | Încărcarea critică $P_{cr}$, tf | | | Încărcare admisibilă | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | pe vîrf $A \times R_n$ | lateral $U\Sigma f_i l_i$ | Total $P_{cr}$ | Teren coeziv $0{,}7\ P_{cr}$ | Teren necoeziv $0{,}6\ P_{cr}$ |
| 1 | 250 | 0,8 | 50 | 2,5 | 52,5 | 36,5 | 31,5 |
| 2 | 300 | 1,05 | 60 | 5,6 | 65,6 | 46,0 | 39,3 |
| 3 | 380 | 1,1 | 76 | 6,9 | 82,9 | 58,0 | 49,5 |
| 4 | 400 | 1,2 | 80 | 9,5 | 89,5 | 62,5 | 53,6 |
| 5 | 415 | 1,3 | 83 | 12,2 | 95,2 | 66,5 | 57,0 |
| 6 | 430 | 1,35 | 86 | 14,4 | 100,4 | 70,3 | 60,2 |

*) Teodor Ruzvan, Gheorghe Cusursuz şi Silvan Usatiuc sînt ingineri proiectanţi la I.S.P.E.; Mircea Beldiman este lector la Institutul de construcţii din Bucureşti, Facultatea de instalaţii.

S-au ales aceste tipuri de terenuri, deoarece sînt mai des întîlnite în țara noastră și se încadrează bine în cele mai multe cazuri.

În coloanele 2 și 3 din tabelul 2 sînt indicate rezistența normată la vîrf $R_n$, în tf/m², și respectiv, rezistența la frecare $f_i$, în tf/m²; în coloanele 4, 5 și 6 se arată încărcarea critică preluată pe vîrf, pe manta (laterală) și totală, iar în coloanele 7 și 8 sînt indicate încărcările admisibile în terenuri coezive, considerîndu-se $k = 0{,}7$ și, respectiv, în terenuri necoezive, considerîndu-se $k = 0{,}6$.

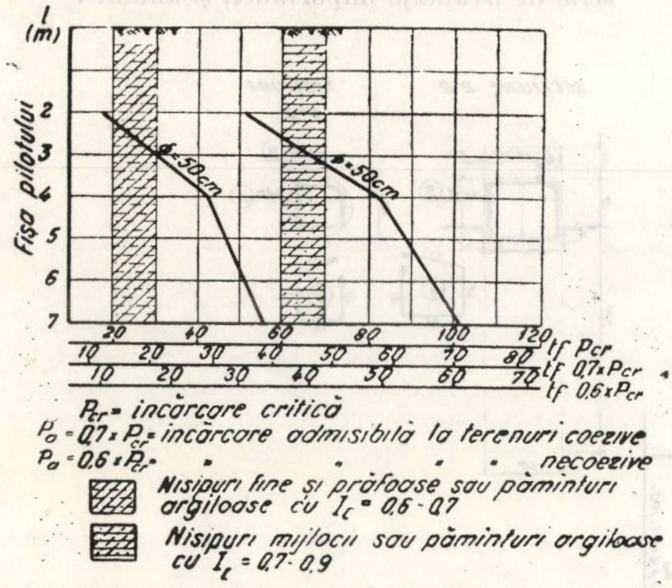



Fig. 1. Încărcări critice și încărcări admisibile pentru piloți forați cu diametrul de 50 cm.

În conformitate cu STAS 4860-67 pct. 3.8.1., pentru încărcări statice verticale, *sarcina critică* este acea treaptă de încărcare la care sînt îndeplinite simultan următoarele condiții :

— creșterea deformațiilor este de cinci ori mai mare decît creșterea acestora la treapta precedentă ;

— tasarea generală este mai mare decît 1/10 din diametrul (latura) pilotului.

Datele din tabelele 1, 2 și 3 și diagrama din figura 1 sînt indicative și sînt condiționate și corectate în raport cu condițiile specifice de executare a piloților și în funcție de încercările în teren ale piloților de probă, conform STAS 4860-67.

*Pentru suporturile supraterane ale reazemelor mobile,* așa cum se vede din tabelele 1 și 2 și din diagrama din figura 1, este rațional să se utilizeze piloți forați scurți, care pot prelua sarcinile verticale de 10—30 t, date de conducte; piloții se solidarizează la partea superioară cu o grindă-suport pe care se montează plăcile metalice de reazem (inferioare); pe acestea culisează rolele, deasupra cărora este placa superioară, legată solidar de conductă.

Forțele orizontale transmise de reazemele mobile sînt preluate de aceleași suporturi, fundate cu piloți forați scurți.

*Pentru reazemele fixe,* unde forțele orizontale sînt importante, suporturile se pot executa din piloți forați scurți, înclinați, formînd capre în așa fel, încît sarcinile orizontale să fie preluate de piloți sub formă de efort axial; piloții se forează înclinat, la circa 15° față de verticală.

Atunci cînd tehnologia de execuție nu oferă posibilitatea realizării unor piloți înclinați, așa încît solicitarea elementelor din grup (a piloților) să fie axială, sarcinile orizontale vor fi preluate de piloți verticali.

Pentru verificarea capacității portante la sarcinile orizontale se folosește relația :

$$\Sigma H < mn\, P_h$$

în care

$\Sigma H$ este suma forțelor orizontale ;

$n$ — numărul de piloți din fundație ;

$m$ — coeficientul condițiilor de lucru, care în cazul acestui tip de construcții este 0,9 ;

$P_h$ — încărcarea admisibilă pe pilot, rezultată din încărcări pe teren asupra unor piloți de probă, și anume încărcarea $P_h$ care aplicată asupra pilotului produce o deplasare în direcția forței (orizontală) egală cu aproximativ 1 cm; în lipsa datelor experimentale se folosesc valorile din tabelul 3, cu titlu indicativ.

*Tabelul 3*

**Rezistența $P_h$ corespunzătoare unei deplasări orizontale de 1 cm**

| Natura terenului în care se încastrează pilotul | Adîncimea de încastrare, m | Rezistența de calcul $P_h$ la piloți din beton armat, t | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 30 × × 30 cm sau d = 30 cm | 35 × × 35 cm sau d = 35 cm | 40 × × 40 cm sau d = 40 cm | 50 × × 50 cm sau d = 50 cm |
| Nisipuri de îndesare medie; argile nisipoase și plastic vîrtoase și consistente | 6d | 6 | 7 | 8 | 10 |
| | 4d | 4 | 6,5 | 5 | 6 |
| Nisipuri prăfoase afînate și nisipuri argiloase plastice, argile plastic-moi | 7d | 2,5 | 3 | 3,5 | 4,5 |
| | 4d | 1,4 | 1,7 | 2 | 2,5 |
| Miluri, argile și argile prăfoase plastic curgătoare | 8d | 1 | 1,5 | 2 | 3 |
| | 4d | 0,5 | 0,8 | 1 | 1,5 |

## Eficiența tehnico-economică

În scopul experimentării tehnologiei de execuție a soluției cu piloți scurți și al evidențierii avantajelor amintite s-a aplicat acest procedeu la montarea conductelor de termoficare pe unul din tronsoanele rețelei care alimentează în prezent cu căldură Complexul de sere Craiova.

Pe traseul de termoficare al serelor din Craiova, unde s-a experimentat montarea suporturilor aeriene pe piloți, s-au prevăzut următoarele conducte:

— 1 Dn 900 + 2 Dn 700 pe lungimea de 430 m;

— 1 Dn 800 + 2 Dn 600 pe lungimea de 1 110 m;

— 2 Dn 600 pe lungimea de 380 m;

— 2 Dn 500 pe lungimea de 400 m.

Soluțiile adoptate sînt prezentate în figurile 2 și 3.

Piloții forați au diametrul de 52 cm și lungimea de 2,20 m și s-au executat cu ajutorul unei foreze semimecanice, confecționată pe șantier prin mijloace proprii, după indicațiile proiectanților, printr-un efort de *autoutilare*.

Timpul necesar pentru efectuarea unei găuri forate de 2,20–2,50 m adîncime și diametrul de 52 cm este de circa 20 min. Într-un schimb de 8 ore, ținînd seama de operațiile pregătitoare de trasare, de așezare a forezei pe punctul de foraj, forarea propriu-zisă și de deplasări la punctele de lucru, se realizează în medie 15 foraje/schimb.

Din compararea tehnico-economică a soluției cu piloți scurți descrisă mai sus și soluția folosită curent, de fundare directă, rezultă o serie de avantaje importante, și anume:

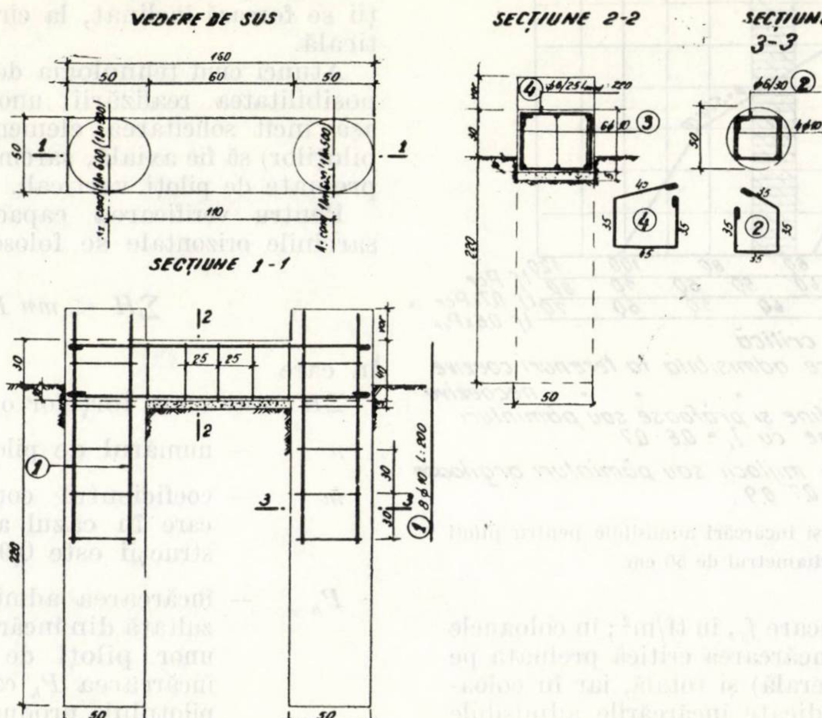



Fig. 2. Suport pentru reazeme mobile pentru tronsonul 2 Dn 600 sau 2 Dn 500.

— soluția propusă este mai ieftină decît soluția curentă (în cazul experimentat cu 64%);

— se micșorează cantitățile de lucrări și de materiale (în cazul experimentat: betonul simplu și armat s-au redus cu 65,8%, cofrajele s-au redus cu 75,8%, terasamentele manuale s-au redus cu 100%, epuismentele s-au redus cu 100%, costul materialelor cu 55%);

— se reduce costul manoperei (în cazul experimentat s-a redus cu 76,8%);

— se reduce costul utilajului (în cazul experimentat s-a redus cu 66,5%)

— timpul de execuție se reduce cu circa 70%;

— eliminarea completă a lucrărilor de săpături manuale și a epuismentelor;

— posibilitatea organizării lucrului în lanț, avantajat prin gradul ridicat de mecanizare.

Această tehnologie reprezintă de fapt aplicarea ideii industrializării la execuția părții de construcții a traseelor supraterane de termoficare.

Tabelul 4 sintetizează reducerile procentuale valorice la lucrările principale în tehnologia nouă, față de soluția curentă în cazul experimentat.

Se menţionează că în cazul experimentat cheltuielile aferente încercărilor pe piloţii de probă au fost incluse în calculul economic, fiind influenţate de condiţiile specifice lucrării; datele referitoare la caracteristicile terenului şi

— posibilitatea utilizării metodei practic în orice fel de terenuri, făcîndu-se adaptările corespunzătoare;

— economie în proiectare prin simplificarea proiectelor;

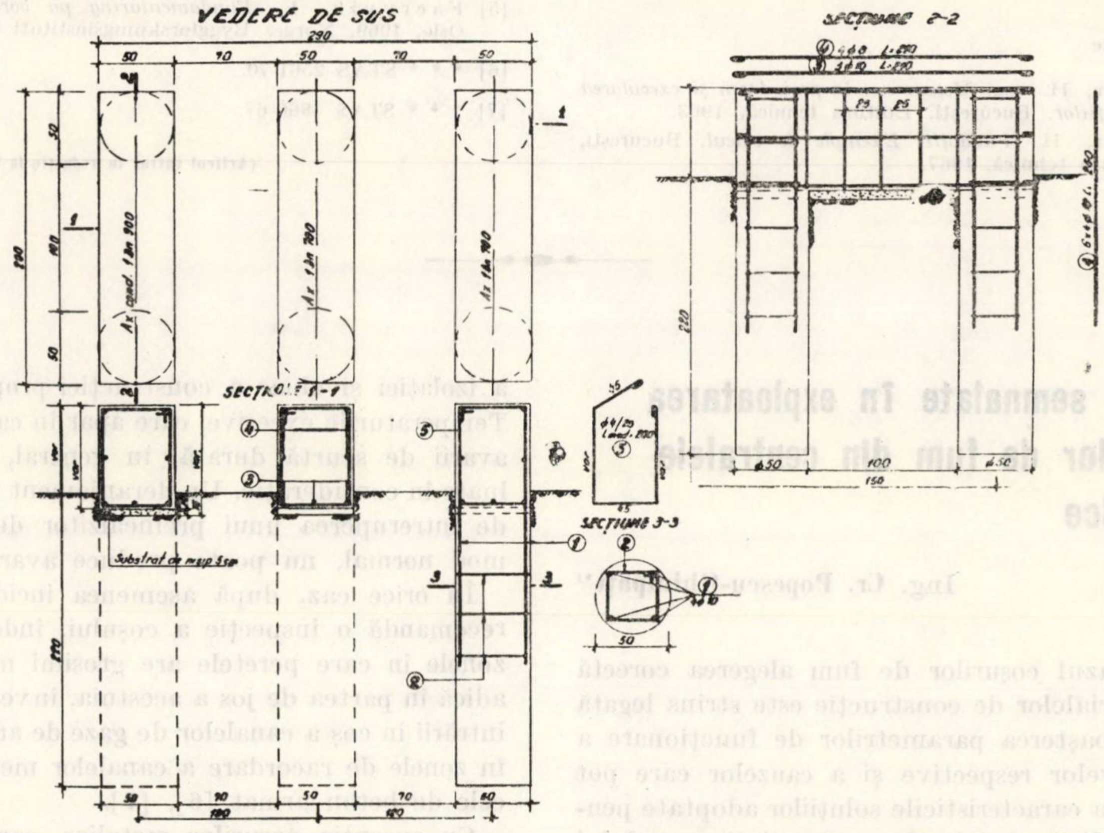



Fig. 3. Suport pentru reazeme mobile pentru tronsonul 1 Dn 900 + 2 Dn 700.

*Tabelul 4*

**Reducerile procentuale obţinute cu soluţia nouă faţă de soluţia curentă (clasică) în cazul experimentat**

| a) Lucrări principale | Reduceri, % | b) Valoric | Reduceri, % |
|---|---|---|---|
| Beton armat | 65,8 | Cost materiale | 55 |
| Cofraje | 75,8 | Cost manoperă | 76,8 |
| Terasamente | 100 | Cost utilaj | 66,5 |
| Epuismente | 100 | Cost total | 64 |

mărimea solicitărilor sînt însă obişnuite, frecvent întîlnite în zonele în care s-au executat sau urmează să se execute reţele aeriene de termoficare.

În afară de avantajele enumerate trebuie subliniate şi următoarele:

— posibilitatea executării lucrărilor în tot timpul anului, ceea ce duce la micşorarea duratei de execuţie pe ansamblu a lucrării şi la scurtarea termenului de dare în exploatare;

— banda de teren afectată prin folosirea acestei tehnologii este mai raţional utilizată, deoarece nu apar mişcări importante de terasamente, se reduc transporturile şi se reduce perioada de execuţie.

**Concluzii**

Executarea reţelelor supraterane de termoficare în ţara noastră implică investiţii însemnate şi un volum important de lucrări fizice în fiecare an. În articolul de faţă se prezintă avantajele tehnice şi economice ale montării conductelor de termoficare pe suporturi aeriene fundate pe piloţi scurţi foraţi, în comparaţie cu soluţia folosită în prezent (montarea conductelor pe fundaţii masive directe), atît în cazul montării la mică înălţime (0,5—1,5 m), cît şi la înălţime mai mare (2—6 m). În fiecare dintre aceste situaţii se prevăd soluţii constructive corespunzătoare pentru legătura dintre piloţii de fundare şi elementele supraterane.

Soluţia poate fi aplicată şi la suporturile aeriene ale altor genuri de reţele tehnologice.

Se subliniază faptul că experimentarea aplicării soluţiei de montare a conductelor de

termoficare aferente Complexului de sere Craiova pe fundaţii din piloţi scurţi foraţi poate constitui o bază pentru extinderea prevederii ei şi în alte lucrări, făcîndu-se adaptările cerute din punct de vedere tehnic şi economic de cazurile respective.

**Bibliografie**


[1] Lehr, H. ş.a. *Metode noi in proiectarea şi executarea fundaţiilor*. Bucureşti, Editura tehnică, 1963.

[2] Lehr, H. *Fundaţii. Exemple de calcul*. Bucureşti, Editura tehnică, 1967.

[3] * * * *Instrucţiuni tehnice pentru proiectarea şi executarea fundaţiilor pe piloţi scurţi pentru clădirile civile şi industriale*. INCERC, Redactare de aprobare, 1969.

[4] Müller, J. KDT *Kurze Bohrofähle — ein neues Wirtschaftliches Gründungsverfahren*. În: Bauplanung Bautechnik, nr. 9, 1969.

[5] Faeryvik, F. *Fundamentaring pa borede paeler*. Oslo, 1969, Norges Byggforskningsinstitutt 163.

[6] * * * STAS 2561-70.

[7] * * * STAS 4860-67.


(Articol intrat în redacţie la 29 mai 1972)

# Avarii semnalate în exploatarea coşurilor de fum din centralele electrice

Ing. Cr. Popescu-Ghimpaţi *)

În cazul coşurilor de fum alegerea corectă a materialelor de construcţie este strîns legată de cunoaşterea parametrilor de funcţionare a obiectivelor respective şi a cauzelor care pot modifica caracteristicile soluţiilor adoptate pentru condiţii speciale. Ca o consecinţă a modului de desfăşurare a schimburilor termice din procesul tehnologic în exploatarea cazanelor cu abur şi a schimbărilor de combustibil, se cere adesea o flexibilitate mai mare a căptuşelilor de protecţie ale coşurilor de fum, pentru a se putea adapta cu uşurinţă solicitărilor de scurtă durată, în cazul unor anomalii în funcţionare [6], [7].

Printre cauzele care pot duce la avarii pot fi enumerate :

— tensiunile termice excesive ;

— timpul prea scurt de încălzire şi de uscare a construcţiei la punerea în funcţiune ;

— coroziunea datorată formării condensatului acid la exploatările sub temperatura punctului de rouă şi la consumuri sporite de combustibil.

Temperaturile maxime de evacuare a gazelor de ardere afectează dimensionarea căptuşelii, a izolaţiei şi chiar a construcţiei propriu-zise. Temperaturile excesive, care apar în cazul unor avarii de scurtă durată, în general, nu sînt luate în consideraţie. Un deranjament provocat de întreruperea unui preîncălzitor de aer, în mod normal, nu poate produce avarii grave.

În orice caz, după asemenea incidente, se recomandă o inspecţie a coşului, îndeosebi în zonele în care peretele are grosimi mai mari, adică în partea de jos a acestuia, în vecinătatea intrării în coş a canalelor de gaze de ardere sau în zonele de racordare a canalelor metalice cu cele de beton armat [6], [7].

Cu excepţia coşurilor metalice, care nu au norme speciale de punere în funcţiune, pentru coşurile de beton căptuşite cu zidărie de protecţie, perioadele cerute de uscare şi de încălzire depind de grosimea acestora şi chiar de diferenţele de grosimi ale căptuşelii la diferite niveluri ale coşului. Timpul insuficient acordat uscării coşurilor de beton nou construite poate determina apariţia de fisuri în masa mortarului de înzidire şi în masa betonului de rezistenţă [4] (fig. 1 şi 2).

Pe de altă parte, pornirea coşurilor vechi pune probleme suplimentare, datorită umezelii absorbite de betonul de rezistenţă în timpul perioadei de oprire. Orice oprire de scurtă durată, de numai o săptămînă, poate avea efecte negative, dacă se produce în perioade cu un climat umed. În funcţie de direcţia de cădere a ploii, o parte din coş poate fi mai umedă decît cealaltă ; de obicei aproximativ 36 cm din grosimea peretelui poate fi pătrunsă de umiditate. O încălzire rapidă, la repunerea în funcţiune a coşului, duce la atingerea punctului de fierbere a apei pătrunsă în

*) Cristina Popescu-Ghimpaţi este inginer proiectant II la I.S.P.E.-Bucureşti.

construcţie, putînd genera deformarea sau crăparea fusului de beton, ca o consecinţă a procesului de evaporare [5].

În unele ţări, de exemplu în R.F. a Germaniei, fabricantul de materiale de construcţie limitează

Fig. 1. Desprinderea stratului de protecţie.

diferenţele de temperatură dintre interiorul şi exteriorul coşului la aproximativ 140°C, în funcţie de grosimea peretelui de cărămidă, şi la 20°C pentru construcţiile din beton armat.

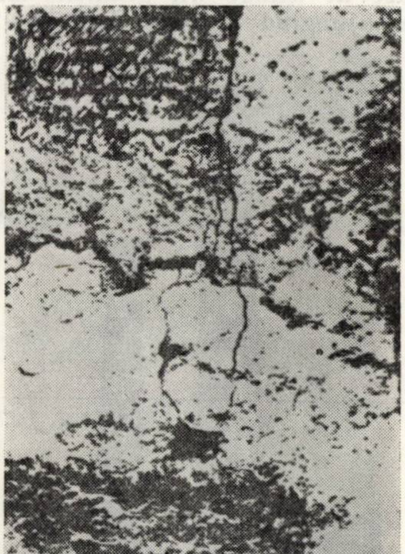


Fig. 2. Crăpături în peretele căptuşelii de protecţie datorită tensiunilor termice.

În zonele inelelor de susţinere a zidăriei de protecţie, această diferenţă nu trebuie să depăşească 15°C. Izolaţia termică aplicată la faţa interioară a betonului poate aluneca în timp prin desprindere, se poate tasa, în cazul folosirii de materiale sub formă de praf, şi poate suferi modificări de conductibilitate termică prin pătrunderea umezelii. Datorită acestor modificări izolaţia termică devine necorespunzătoare, fiind necesară o intervenţie imediată, pentru a preîntîmpina degradările posibile, datorate diferenţelor de temperatură care iau naştere între zonele protejate termic şi cele neprotejate [2].

În general, căptuşelile de protecţie trebuie să facă faţă atît solicitărilor fizice cît şi agresivităţii gazelor de ardere [2]. Rezistenţa chimică a căptuşelii trebuie corelată cu rezistenţa ei la compresiune. De asemenea, în zonele cu cutremure, forţele tăietoare şi de dilataţie vor fi în primul rînd luate în consideraţie în calculele de proiectare a obiectivului. Fisurile din căptuşeli sînt de cele mai multe ori asociate cu modificările chimice suferite de mortarul de înzidire al căptuşelilor şi sînt mai puţin frecvente în cărămida de înzidire. Printre cauzele principale de fisurare a fusului de beton trebuie citate:

1. O insuficientă armare a elementelor care trebuie să reziste la eforturile transversale date de acţiunea vîntului, eforturi dificil de determinat.

2. Tensiuni de origine termică superioare celor luate în considerare la proiectare. La aceste tensiuni pot apărea:

— diferenţe de temperatură create prin funcţionarea unui singur canal de gaze;

— acţiunea termică exterioară, determinată de diferenţa de însorire.

La analiza diferitelor avarii petrecute în zona căptuşelilor de protecţie s-au constatat:

— cărămizi crăpate din cauza şocurilor termice care au avut loc la punerea în funcţiune a coşului sau în caz de avarii în regimul de funcţionare a cazanului;

— rosturi de mortar dintre cărămizi prea mari (20 mm grosime medie, în timp ce specialiştii recomandă maximum 2–3 mm);

— rosturi de dilataţie complet resorbite, fapt care a creat deformări importante ale brichetajului.

Combinaţia cărămidă-mortar trebuie corelată cu condiţiile de temperatură, după cum se arată în tabelul 1. Analizele gazelor de ardere, umiditatea şi *p*H-ul trebuie luate în mod deosebit în consideraţie. În cursul celor 365 de zile ale unui an, nivelul temperaturilor poate să varieze apreciabil, ceea ce se reflectă în comportarea cărămizii şi a mortarului de înzidire. Acest fapt va sta în atenţia proiectantului de protecţie la alegerea soluţiei, precum şi a beneficiarului, în urmărirea respectării parametrilor de proiectare în timpul exploatării.

Cel mai frecvent mod de deformare a coşurilor de fum din beton armat se datoreşte unui proces chimic, în care carbonatul de calciu trece în sulfat de calciu (fig. 3 şi 4). Fenomenul se observă îndeosebi la coşurile cu funcţionare intermitentă. În timpul fiecărei opriri sau porniri se atinge cu siguranţă punctul de rouă;

*Tabelul 1*

**Corelația dintre cărămidă și mortar la diferite temperaturi**

| Temperatura, °C | Cărămidă | Mortar |
|---|---|---|
| pînă la 200 | rezistentă la acid | antiacid |
| 200–300 | perforată radială | ciment de aluminiu |
| 300 | refractară plină | ciment portland |
| 700 | din pămînt nears | ciment aluminos |
| 900 | arsă la temperaturi scăzute | var ars și ciment |
| 900 | arsă la temperaturi intermediare | cimenturi |
| 900 | refractară | refractar (praf de șamotă+ciment) |
| 900 | refractară | refractar cu uscare în aer |
| 900 | superrefractară | refractar cu uscare la la aer (praf de șamotă+ciment portland) |

prin condensare, acidul sulfuric poate intra în mortar și în betonul de rezistență, atunci cînd vine în contact cu acestea (fig. 5). Fenomenul se observă mai accentuat pe partea expusă condițiilor atmosferice, care poate suferi o răcire cu mult mai mare [1]. Creșterea însemnată a utilizării energiei în scopuri casnice din ultimii ani determină raporturi de sarcină ridicate

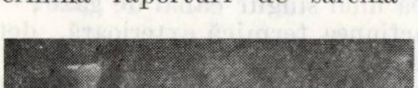


Fig. 3. Apariția sulfaților și a agregatelor din beton.

zi-noapte. În timpul unei sarcini parțiale, gazele de ardere intră în coș cu o temperatură mai scăzută și la o viteză mai mică. Aceste condiții produc temperaturi mici la suprafața căptușelii, cu formare de acid în cantitate mai mare. Mai tîrziu, cînd stația trece la sarcină mai mare sau la sarcina maximă, acidul care a pătruns în căptușeală se concentrează, datorită creșterii temperaturii gazelor.

Uneori avariile datorate acidului pot fi întîlnite la obiective la care temperatura gazelor de ardere a fost menținută mult peste temperatura critică. În acest caz s-a constatat că viteza pe

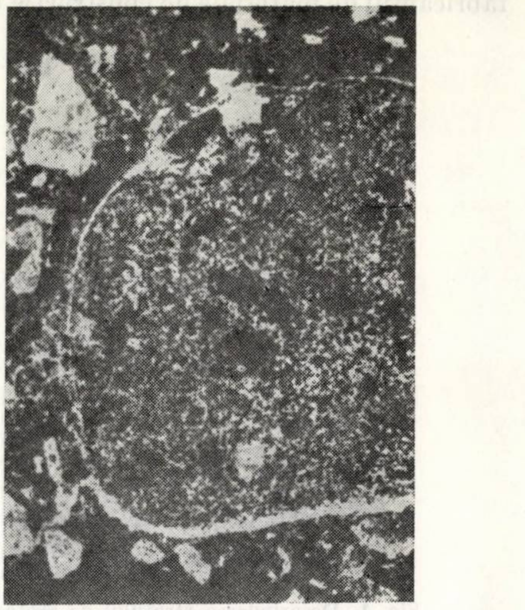


Fig. 4. Zone puternic sulfatate. Linia albă demonstrează formarea sulfaților.

verticală a gazelor este mică. Dacă temperatura de intrare a gazelor la coș ar fi de 194°C, temperatura în imediata apropiere a căptușelii interioare ar atinge un gradient simțitor de scădere, ajungînd aproape la 100–101°C. În

Fig. 5. Apariția condesatului acid la partea exterioară a coșului.

această zonă acidul format în coș se condensează pe fața căptușelii de izolație. La viteze mici ale gazului, o cantitate mai mare de acid

rămîne în coș. Vitezele mari sînt mai indicate dintr-un punct de vedere, după cum s-a arătat, dar pot duce la o creștere a presiunii în domeniul pozitiv. Presiunea pozitivă va forța picăturile să migreze printr-o structură poroasă făcînd să crească mult gradul de avariere a structurilor nerezistente la acid. Astfel, presiunea poate mări viteza cu care acidul atacă suprafața interioară a căptușelilor și în unele cazuri poate afecta chiar betonul de rezistență [1], [2].

Există, de asemenea, numeroși alți factori care pot accentua efectul distrugător al condensatului acid. Printre aceștia se pot enumera impuritățile incluse în combustibil, excesul de aer utilizat în combustie, umiditatea și temperatura aerului înconjurător [5].

**Mecanismul de formare a condensatului acid**

Pentru înțelegerea avariilor datorate scăderii temperaturii gazelor de ardere sub punctul de condensare, se impune cunoașterea procesului chimic, determinat de conținutul de sulf al combustibilului, care are loc în timpul procesului de ardere și în timpul evacuării gazelor de ardere [6], [7].

Sulful din combustibil se combină cu oxigenul din aerul adus în focar, formînd $SO_2$. Trecerea la $SO_3$ este în funcție de temperatura gazelor din zona de combustie, de excesul de aer, de procesul de ardere și de efectele catalitice care pot avea loc în focar sau pe drumul de evacuare. Cantitatea de $SO_3$ crește odată cu creșterea excesului de aer, cu reducerea temperaturilor și cu formarea oxizilor de azot, care servesc drept catalizatori, pe de o parte, și dau probleme de coroziune, cumulate cu cele datorate oxizilor de sulf, pe de altă parte.

Concentrația oxizilor de azot în gazele de evacuare se situează între 200 și 800 p.p.m. și, în unele cazuri, chiar la 1 500 p.p.m.

Din analizarea gazelor pe traseul de evacuare s-a ajuns la concluzia că concentrația oxizilor de azot în gazele de evacuare este cu 45% mai mare la ieșirea din precipitatoarele electrostatice, față de concentrația acestora la intrare. Explicația constă în formarea ozonului și a oxigenului atomic în filtrele electrostatice, datorită descărcărilor corona. În acest caz cantitatea de $SO_3$ din gazele de ardere poate spori chiar pe traseul de evacuare.

Acizii care iau naștere în gazele de ardere sînt acidul sulfuric, acidul sulfuros, clorhidric și azotic. Dintre aceștia, acidul sulfuros și cel clorhidric condensează la temperaturi cu mult mai joase decît acidul sulfuric. Datele acumulate asupra comportării acidului azotic sînt foarte limitate. Acidul sulfuric este considerat și va rămîne principalul agent corosiv în exploatarea coșurilor de fum din termocentrale. Formarea lui a fost amplu cercetată, datorită unor defecțiuni care au apărut la coșurile de beton armat în țări cu o dezvoltare mare a energiei electrice, îndeosebi la utilizarea combustibililor lichizi, cu conținut ridicat de sulf. În procesul de combustie, sulful, prezent în majoritatea combustibililor utilizați în centrale, se degajă și prin oxidare, datorită excesului de aer, se formează bioxid și

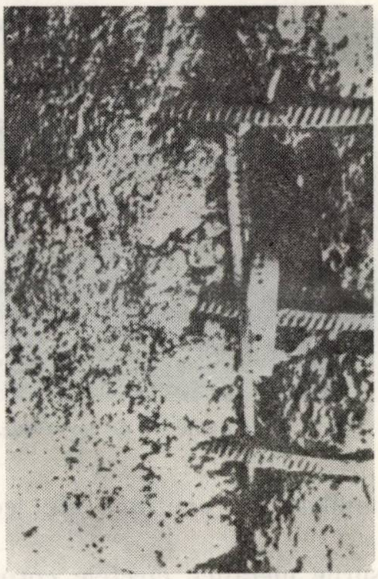


Fig. 6. Armătură descoperită datorită betonului degradat.

trioxid de sulf. Trioxidul de sulf este principala sursă de acid în coș. La punctul de condensare trioxidul de sulf reacționează cu vaporii de apă și formează picături mici de acid sulfuric concentrat, cu proprietăți puternic desicante. Absorbind umezeala din gaze, picăturile devin mai reactive, atunci cînd vin în contact cu materialele de construcție.

În acest moment, concentrația acidului sulfuric începe să scadă de la aproximativ 98 %, în medie, la circa 62 % și continuă să scadă în măsura în care intră în reacție cu mortarul de înzidire sau prin pătrunderea în căptușeala de zidărie aleasă în mod greșit ori executată neetanș.

**Aspecte caracteristice la apariția avariilor**

Avariile căptușelilor pot fi detectate numai printr-o inspecție făcută în interiorul coșului, la nivelul privirii examinatorului. În cazul în care nu se poate face un control minuțios, se impune o inspecție periodică, vizuală, cu ajutorul unui binoclu. Acest control va fi făcut de un specialist.

Printre efectele avariilor curente apărute la coșurile de beton pot fi enumerate :

— pete albicioase pe peretele de beton, pe partea exterioară ;

— armături dezvelite (fig. 6, 7, 8, 9) ;

— fisuri verticale și orizontale la interior și la exterior ;

— stratificări şi aşchii de beton (fig. 10);

— stratificări ale cărămizilor;

— orificii, fisuri străpunse, desprinderi de cărămizi şi de protecţie termică, deteriorări la tencuială şi eroziuni pe diafragmă, în cazul

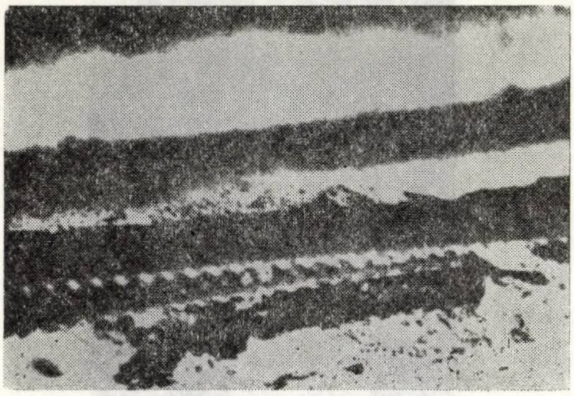


Fig. 7. Fază avansată de coroziune.

combustibililor cu conţinut de cenuşă [7] (fig. 11).

La coşurile metalice efectele coroziunii sînt mai uşor detectabile (fig. 12). Pereţii perforaţi

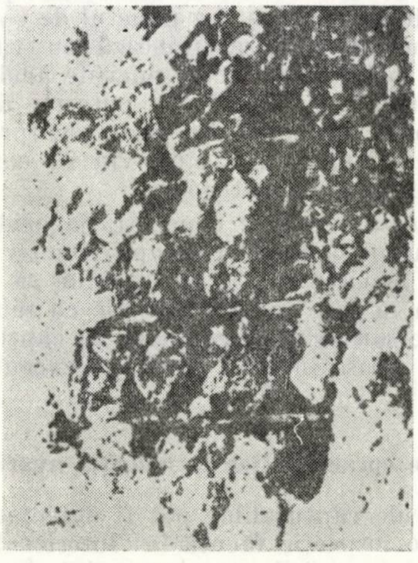


Fig. 8. Betonul de rezistenţă este degradat. Se observă armătura.

dau imediat de ştire, prin scăpările de gaze care pot fi percepute vizual. În general, gradul de corodare este în funcţie de natura materialului, atingînd valori de minimum 3 mm pe an, în cazul obiectivelor neprotejate.

Coşurile deteriorate sînt înlocuitele cu alte noi, în cazul în care reparaţiile necesare sînt prea costisitoare. Astfel, în U.R.S.S. se construiesc anual în jur de 50 de coşuri noi de fum [9], iar cele scoase din folosinţă sînt supuse cercetării. Autorul articolului menţionează că, în decurs de 5–15 ani de exploatare, un număr mare de coşuri care funcţionau la presiune

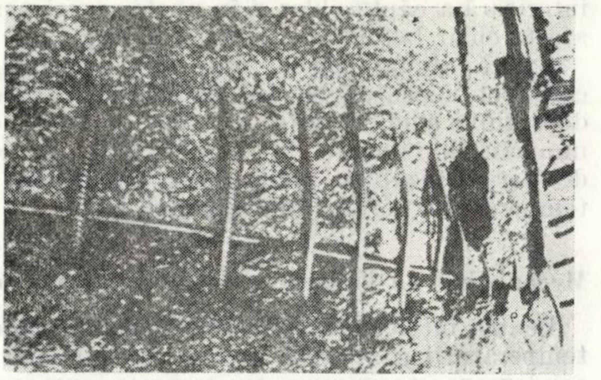


Fig. 9. Armătură dezvelită.

pozitivă au fost scoase din uz complet, iar altele necesitau reparaţii imporante.

Astfel, la CET-3 coşul de fum nr. 2, dat în folosinţă în anul 1954, a fost găsit, la controlul

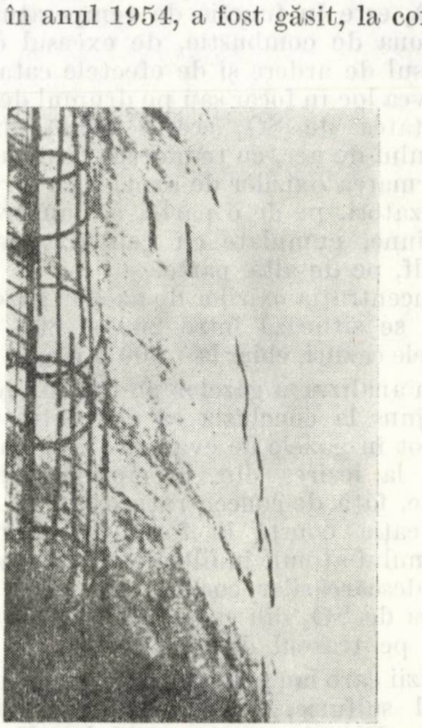


Fig. 10. Beton stratificat.

efectuat în 1957, cu mortarul de înzidire degradat, mortarul fiind pe bază de ciment şi nisip; betonul de rezistenţă conţinea sulfat de calciu în proporţie de 20–30%, pe o adîncime de 10 cm, iar cărămida de înzidire avea un conţinut

de 7% $SO_3$. La CET-4 coşurile nr. 1, 2 şi 3, date în exploatare respectiv în anii 1956, 1958 şi 1960, prezentau la oprirea din anul 1963 o slăbire a betonului de rezistenţă atît de accentuată, încît la coşul nr. 1 nu s-au putut recolta

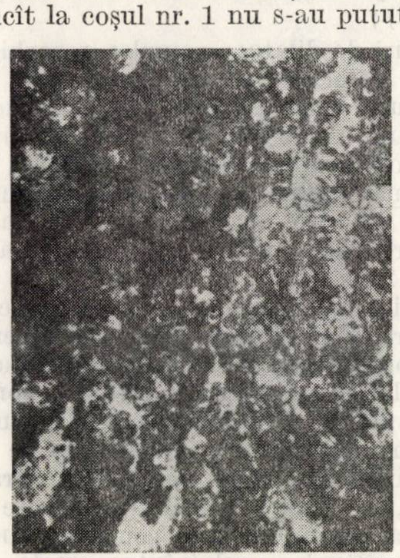


Fig. 11. Excavaţii în beton datorită agresivităţii condensatului acid.

carote pentru analiză. La CET-1, la coşurile nr.1 şi 2, intrate în funcţiune în 1954 şi 1956, deşi combustibilul folosit era un cărbune cu un

Fig. 12.

conţinut destul de scăzut de sulf, de 0,6%; s-au constatat de asemenea coroziuni accentuate pe toată înălţimea coşului. În peretele de beton s-a găsit $SO_3$ în proporţie de 12,8%, iar mortarul de înzidire putea fi uşor desprins cu dalta, fiind puternic atacat. La coşul nr. 1, la cota +7m sulfaţii depăşeau pe alocuri 3,62%. Conţinutul de acid în cărămida de protecţie atingea un procent destul de ridicat, de 2%. La CET-11, unul dintre coşurile de fum, care era în exploatare din anul 1954, prezenta la controlul din 1960 condensat acid pe partea exterioară a betonului de rezistenţă. S-a constatat cu această ocazie că lacul N 44, folosit ca material de protecţie, nu s-a comportat satisfăcător. În multe zone betonul era deteriorat pe o adîncime de 8 cm.

Alte avarii, semnalate de o publicaţie bulgară [2], la două coşuri aflate în exploatare din anul 1960, au determinat oprirea acestora în anul 1963, ca urmre a deformărilor apărute pe partea lor exterioară. Fenomenul s-a petrecut la CET Mariţa Vostok (Bulgaria). Zidăria interioară, care fusese legată cu mortar pe bază de praf de şamotă, ciment şi silicat de sodiu, a lăsat să pătrundă acidul sulfuric, format în timpul funcţionării pe căptuşeala de înzidire, către coaja de beton. Valoarea analitică a acidului sulfuric prezent în beton depăşea 37,7 g/l.

Un alt coş avariat, menţionat în literatura de specialitate [6] este cel de la centrala Kassel, din Republica Federală a Germaniei, construit în 1958 şi oprit pentru reparaţii capitale în anul 1963, în perioada lui de garanţie. Cu această ocazie a fost cercetat la interior şi pe partea exterioară, pentru delimitarea defectelor şi cunoaşterea cauzelor care le-au produs. După discuţii purtate cu specialiştii în domeniu, s-a ajuns la părerea unanim aprobată că o reparaţie mai mare a coşului este inevitabilă. Căptuşeala devenise neetanşă, dînd voie gazelor de ardere să pătrundă pe faţa interioară a cojii de beton. Peretele de beton era atacat pe o adîncime de 3 cm, distrugerea lui fiind mai accentuată la partea superioară a coşului. Apariţia de grăunţe plate în masa betonului şi armătura dezvelită şi corodată indicau un proces avansat de coroziune.

Căptuşeala antiacidă prezenta crăppturi capilare, cu rosturi degradate şi desprinse. În zona inferioară a coşului s-a găsit de asemenea o crăpătură în diagonală, care a fost atribuită tensionărilor. Deschiderea crăpăturilor varia între 0,1 şi 0,4 mm. Crăpăturile erau astupate cu cenuşă volantă. Mortarul de înzidire era sfărîmicios şi prezenta cristale de eritringit, care demonstrau prezenţa acidului sulfuric.

Avaria constatată la coşul nr. 1 de la CTE Spezia-Milano [10] a avut loc la un coş de fum căptuşit cu cărămidă antiacidă. De data aceasta condensatul a pătruns prin dreptul consolelor de sprijinire a zidăriei, în betonul de rezistenţă. Analizele chimice făcute pe probe recoltate de la diferite niveluri arătau prezenţa acidului sulfuric şi a sulfaţilor în peretele de beton armat.

*p*H-ul varia între 3,5 şi 1,7, demonstrînd o reacţie puternic acidă.

La centralele electrice din Franţa [7] apariţia avariilor la coşuri s-a constatat de îndată ce înălţimea acestora a crescut de la 100–125 m la 220–240 m. Nici un coş de fum care deservea grupuri de 125 şi 250 MW nu fusese prevăzut cu pelicule de protecţie aplicate direct pe betonul de rezistenţă. Urmărirea comportării s-a făcut asupra unui număr de 40 de coşuri. Incidentele se datorau îndeosebi fisurărilor fusului de beton şi deteriorării inelelor interioare de cărămidă. Fisurarea fusului s-a petrecut în particular la coşurile construite din clavouri, începînd din zona coronamentului, cu o desfăşurare egală pe orizontală, în zona de separare, între piedestalul monolitic şi construcţia în clavouri. Alte fisuri aveau o înclinare la 45° în planul de închidere a medianei. Cauzele presupuse ale acestor avarii au fost:

— o insuficientă armare a elementelor care trebuiau să reziste la eforturile transversale date de vînt, eforturi dificil de determinat pentru astfel de lucrări;

— tensiune de origine termică, superioară celei luată în consideraţie la proiectare;

— neglijarea acţiunii termice exterioare la diferenţe de însorire;

— răciri rapide;

— racordarea a două canale la acelaşi fus de beton, care ar fi putut antrena diferenţe de temperatură pe peretele de beton şi pe peretele intern al căptuşelii interioare, la exploatări parţiale sau diferite.

Se pare totuşi că eforturile termice reprezentau fenomenul principal.

Măsurile luate au constat în colmatarea fisurilor cu un produs care să asigure protecţia armăturii. Fisurile constatate pe coronament au condus la executarea unei centuri din beton armat între cotele 122 şi 125 m.

În general la aceste coşuri cărămida de înzidire a suferit degradări în funcţie de combustibilul folosit şi de natura gazelor de ardere. La coşurile care evacuau gaze de combustie de la arderea cărbunilor degradarea cărămizii era fără importanţă. Cu toate acestea, într-un coş care deservea un grup de 125 MW, s-a constatat o deplasare de 20 cm a inelelor de zidărie şi o fisură de 40–50 mm în zona de ieşire din canal. Cauzele nu au fost complet elucidate.

Pentru coşurile ce deservesc cazane care ard păcură dezordinea s-a datorat unor greşeli de construcţie, agravate de influenţa tensiunilor termice, pe de o parte, şi de efectele combustibilului, pe de altă parte. Astfel, deformările importante care s-au produs după 17 000 de ore de serviciu, în partea conică a cilindrului interior al unui coş de fum, însoţite de căderea înzidirii pe mai mulţi metri pătraţi, au dus la următoarele concluzii:

— cărămizile folosite la înzidire nu erau bine arse;

— rosturile dintre cărămizi erau în jur de 20 mm (specialiştii indică să nu se depăşească 2–3 mm);

— rosturi de dilatare complet resorbite, care explicau deformările importante ale zidăriei.

În cazul folosirii păcurii în centrală, se semnalează, la un alt coş de fum, fisuri pe tronsoane sub consolă şi beton degradat în zona consolelor, pe mai mulţi centimetri adîncime. Analiza prin difracţie cu raze X nu a arătat nici o modificare, dar analiza fluorescenţei a permis punerea în evidenţă a variaţiilor de concentraţie a diverselor elemente prezente în compoziţia materialului. Astfel s-a găsit sulf perceptibil pînă la o adîncime de 3 cm pe suprafaţa internă a betonului, iar mortarul a arătat în compoziţia lui acid sulfuric şi modificarea $CaCO_3$ în $CaSO_4$.

La controlul făcut la un alt coş de fum de 110 m înălţime, care deservea o tranşă de 250 MW, ca urmare a apariţiei de pete pe faţa externă a betonului, s-au constatat modificări în compoziţia betonului între cotele +48 şi +68 m, pe o adîncime de 2–3 cm, după 38 000 de ore de serviciu. Pe alocuri, pe zone localizate, atacul traversa total grosimea fusului de beton şi fierul de armătură era atacat şi tăiat. De asemenea au fost găsite rosturi defecte sub console şi găuri rămase de la demontarea cofrajului. Sulful din cărbunele folosit în centrală nu depăşea 1%.

Pentru remediere au fost desprinse părţile atacate şi au fost aplicate răşini de mare rezistenţă chimică, pe bază de silicon. De asemenea s-a procedat la închiderea găurilor.

Din cele relatate se pot trage următoarele concluzii:

— fenomenul coroziunii la coşurile din beton armat nu a fost multă vreme cunoscut în toată amploarea desfăşurării lui, chiar de către ţările cu o mare dezvoltare a centralelor;

— abordarea de studii a avut loc în momentul în care au fost afectate obiectivele proprii, oferind un vast material de cercetare atît asupra cauzelor, cît şi a efectului fenomenului de corodare datorat formării condensatului acid, care are loc independent de natura combustibilului şi de cantitatea de sulf a acestuia.

În unele ţări sînt legiferate controale periodice. Astfel, în U.R.S.S. se prevede un control timp de o săptămînă, la un interval de 10 ani de la punerea în funcţiune a coşului de fum, şi la maximum 4 ani un control pe toată înălţimea. În R.S.C. coşurile de fum se controlează la 2–3 ani, în R.P.B, la un an, în R.P.P., la 9–12 luni. Controale suplimentare se prevăd în urma cataclismelor şi a avariilor (fig. 13).

**Programul de verificare**

În timpul exploatării pot fi făcute o serie de controale care să prevină avariile [8]. Prin

aceste controale se cercetează în primul rînd starea și umezeala izolației termice dintre căptușeală și trunchiul de beton armat, starea betonului de rezistență pe partea lui interioară, prin găuri făcute în fusul de beton și prin

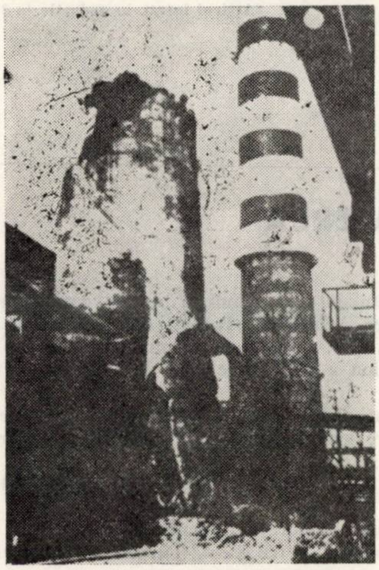


Fig. 13. Coș supus demolării.

luarea de mostre pentru analiză, starea scărilor, a platformelor, verticalitatea coșului, rezistența pereților, tasarea fundației.

Programul de verificare va conține următoarele date:

— temperatura peretelui de beton și a căptușelii la exterior și interior;

— temperatura aerului în interspațiul betoncăptușeală;

— presiunea aerului după ventilator;

— analiza gazelor în interspațiul coș beton-căptușeală;

— probe de beton din zonele în care se constată prezența condensatului sau o colorație deosebită față de restul construcției.

Pentru întregul domeniu de lucru se deschide un registru de verificări. Se presupune că beneficiarul deține date în legătură cu controlul respectării proiectului de execuție, precum și asupra supravegherii construcției respective. La fiecare control vor fi înregistrate punctele analizate și cauzele care au determinat măsurătorile în zona respectivă, precum și rezultatele acestora, pentru a avea, în cazul unei noi inspecții de verificare, posibilitatea comparației cu verificarea anterioară. Dacă cu prilejul unui control se constată fenomene de coroziune și de uzură a materialelor, se vor micșora intervalele dintre măsurători, mărindu-se totodată numărul punctelor în care se efectuează măsurătorile.

Este util ca în registrul de verificare să se indice o serie de puncte fixe de referință, cu indicarea zonelor care sînt mai solicitate în exploatarea curentă. De asemenea, punctul de măsurare trebuie marcat cu vopsea, pentru ca în cazul unor controale ulterioare măsurătorile să fie reproductibile.

**Aspectele economice legate de efectuarea controlului comportării instalației**

Cheltuielile pentru controlul periodic sînt deosebit de rentabile, dacă se ia în considerație eliminarea perioadei de întrerupere, în cazul unor avarii, care ar periclita siguranța instalației în exploatare. Intervențiile de întreținere făcute în faza incipientă de apariție a degradărilor, datorate tensiunilor termice sau acțiunii agresive a condensatului acid, sînt deosebit de utile în cazul coșurilor, care, prin natura construcției, nu dau posibilitatea unui control permanent, datorită lipsei de acces în zona consolelor de susținere a zidăriei de protecție și complicațiilor ce intervin la lansarea în interiorul coșului a unui dispozitiv care să permită unui specialist să cerceteze îndeaproape aspectul căptușelii (acoperită în mod inevitabil de un strat de depuneri ce trebuie eliminat înainte de cercetare) [8].

Se poate pune întrebarea dacă tipul de construcție adoptat la noi în țară, pentru beton și pentru partea interioară din cărămidă, reprezintă soluția ideală. Dacă se urmărește o etanșeitate absolută a căptușelilor interioare, există tentația de a se merge către o construcție sudată, eliminînd astfel prezența îmbinărilor. Primul material care ar corespunde cazului în speță este evident oțelul. Coșurile cu căptușeală din oțel au fost realizate în particular în Germania și par să dea rezultate satisfăcătoare. Trebuie subliniat faptul că temperatura gazelor la ieșirea din aceste coșuri este în general de 150—160°C, fiind foarte asemănătoare cu temperatura de exploatare a coșurilor din centralele termoelectrice din țara noastră. Astfel, prin exploatarea cazanelor cu aburi cu un exces scăzut de aer și reducerea conținutului de $SO_3$ în gazele de combustie la valori foarte scăzute (mai puțin de 10 p.p.m.), este posibil să se întrevadă utilizarea unui coș de oțel calorizat cu grijă, pentru ca temperatura la fața oțelului să fie cea a gazului. Acest tub de oțel va fi suspendat în coș și va constitui prelungirea canalelor de gaze din oțel, care pînă astăzi nu au pus probleme, dacă protecția termică s-a executat corect și dacă s-a evitat prezența punctelor joase, susceptibile eventual de acumulare a condensatului acid [7].

**Bibliografie**


[1] B i e l i c k i, W. *Coșul de fum cel mai înalt din Europa executat din beton armat la Centrala electrică Sierza II de lîngă Cracovia.* În: Przeglad Budowlany, nr. 2, 1967, p. 75—77 (traducere CDCAS, nr. 6 710, iunie 1967).

[2] J a k i m o v, V. *Probleme de bază în proiectarea, execuția și exploatarea coșurilor din beton armat.* În: Stroitelstvo, nr. 5, 1967, p. 24—29.

[3] B l u m, G. *Căptușirea interioară a coșului din beton armat pentru gaze de ardere.* În: Zentralblatt für Industriebau, nr. 4, 1966, p. 168—169.

[4] C o n r a d, G. *Problema construcţiei coşurilor înalte din R.D.G.* In: Energietechnic, 17, nr. 12, 1967, p. 550.
[5] * * * *Programul de încercări şi studii în curs la Electricité de France. Studiu asupra condiţiilor de funcţionare a coşurilor în exploatare.*
[6] T h i e l, P. *Cauzele defectelor şi lucrări de reparare la coşul centralei Kassel.* In : VGB, dec. 1966, H. 105, p. 411.
[7] L e f r a n c, P. *Coşurile centralelor termice de la Electricité de France.* In : Travaux, nr. 399, iunie 1968.
[8] P o p e s c u-G h i m p a ţ i, C r. *Metodologia şi aparatura necesară cercetării modului de comportare a coşurilor de fum. Posibilităţi de remediere.* In : Producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice şi termice, nr. 6, 1971, p. 281—287.

**(Articol intrat în redacţie la 7 aprilie 1972)**

# CRONICĂ

## AL IV-LEA SIMPOZION PRIVIND COMBATEREA POLUĂRII MEDIULUI

În aprilie 1972 a avut loc cel de-al patrulea simpozion organizat de ,,Comisia pentru combaterea poluării mediului" de pe lîngă Academia R.S.R. Lucrările s-au desfăşurat în clădirea Academiei R.S.R. În şedinţa de deschidere prof. dr. docent George Bărănescu, membru corespondent al Academiei R.S.R., preşedintele comisiei pentru combaterea poluării mediului, a relevat în cuvîntul introductiv participarea la simpozion a unui cerc larg de specialişti, format din ingineri, medici, arhitecţi, chimişti, farmacişti, jurişti şi alţii.

În continuare au fost audiate referatele : ,,Poluarea, reacţie negativă a satisfacerii nevoilor materiale ale omenirii", de conf. dr. I. Purica şi ,,Protecţia mediului şi a populaţiei în centre urbane mici cu dezvoltare industrială intensivă" de arh. Cornelia Berindan şi teh. A. Racz.

Ambele referate au fost urmate de vii discuţii, la care au luat parte jurişti, medici şi ingineri din diferite instituţii centrale.

Referatul arhitectei C. Berindan a scos în evidenţă unele lucrări concrete întreprinse în ultimii zece ani în oraşe industriale ale ţării care au avut o dezvoltare impetuoasă în ultimii ani (Tîrnăveni, Turda, Copşa-Mică) şi unde efectele poluării au putut fi identificate ca evoluţie în timp şi spaţiu.

După încheierea discuţiilor din şedinţa comună, lucrările simpozionului au continuat în trei secţii tematice, şi anume :

— secţia A. : Combaterea poluării atmosferei ;
— secţia B. : Combaterea poluării atmosferei în centrele urbane ;
— secţia C. : Combaterea poluării apelor.

În cadrul secţiei A au fost prezentate opt referate. Dintre acestea, două s-au referit la poluarea instalaţiilor electrice, două la oxizii de azot, unul la poluarea atmosferei prin scăpările de la motoarele cu ardere internă, unul la poluarea aerului cu plumb şi unul la bioxidul de sulf.

O comunicare a prezentat determinarea probabilistă a depunerilor din atmosferă. În secţia B s-au prezentat două referate privind municipiul Bucureşti, unul referitor la nocivităţi, iar altul, referitor la implicaţiile concentraţiei de oxid de carbon şi trei referate privind influenţa poluării industriale asupra morbidităţii în diverse centre industriale; unul dintre aceste referate a luat în discuţie criteriile de laborator în aprecierea influenţei atmosferei poluate asupra organismului.

În secţia C s-au prezentat trei referate privind aspecte epidemiologice ale poluării apei cu substanţe chimice, efectul excesului de nitraţi din apă asupra organismului infantil şi poluarea apei cu plumb.

Simpozionul s-a bucurat de o participare largă de specialişti din ţară, care sînt antrenaţi în urmărirea atentă a variatelor aspecte ce apar în domeniul poluării mediului.

Dr. ing. D. Mark

## A III-a CONFERINŢĂ A ELECTRICIENILOR

A III-a Conferinţă a Electricienilor, care a avut loc în Bucureşti în zilele de 21—23 septembrie, s-a desfăşurat în cadrul a opt secţii (transformatoare şi maşini electrice, aparate electrice, electronică, automatizări şi acţionări electrice, materiale electrotehnice, problemele generale ale electrotehnicii, producţia-transmisia şi utilizarea energiei electrice, calculatoare).

În cadrul secţiei a 7-a, ,,Producţia, transmisia şi utilizarea energiei electrice", s-au întrunit reprezentanţii energeticienilor din ţara noastră şi o serie de invitaţi de peste hotare.

Problemele prezentate, precum şi discuţiile au subliniat realizările obţinute de energeticienii din ţara noastră, dar mai ales o serie de probleme majore care stau în faţă în dezvoltarea viitoare a sistemului energetic.

Cele 33 de referate au fost expuse în prezenţa a peste 100 de participanţi şi au antrenat în discuţii peste 30 de specialişti din cele mai diverse domenii de activitate.

Dintre aceste 33 de referate, 25 au fost elaborate de specialişti din institutele de proiectări şi cercetări (I.S.P.E., ICENERG, ICPE), 5 de cadre didactice din institute politehnice (Bucureşti, Iaşi, Cluj), un referat comun DSE, I.S.P.E., un referat din Italia şi un referat din R. S. F. Iugoslavia.

De remarcat participarea redusă cu referate a energeticienilor din exploatările de reţele şi centrale electrice, precum şi a celor din industrie. Considerăm că referatele lor ar fi putut aduce o contribuţie importantă în discuţia mijloacelor de îmbunătăţire a parametrilor de funcţionare a instalaţiilor, în mărirea gradului de siguranţă în funcţionare şi perfecţionarea conlucrării instalaţiilor energetice ale sistemului energetic cu cele ale întreprinderilor industriale.

Printre problemele principale care au fost dezbătute în cadrul secţiei considerăm necesar să subliniem următoarele :

— Perspectiva de dezvoltare a sistemului energetic în următoarele decenii, cu o serie de aspecte principale, cum ar fi : alegerea unor noi trepte de tensiune, asimilarea şi punerea în funcţiune a unor grupuri de putere unitară mare, determinarea structurii optime a reţelelor, darea în funcţiune de centrale nuclearoelectrice. Datorită ritmurilor rapide de creştere a consumului de energie electrică din ţara noastră, care reprezintă o dublare la circa 5 ani, eforturile conjugate ale energeticienilor şi constructorilor de aparataj trebuie să se dirijeze în mod special asupra problemelor de dezvoltare în perspectivă, care să cuprindă perioada pînă în 1980 şi tendinţele de urmat pînă în anul 2000. Asimilarea unor grupuri de putere unitară mare, a unor noi aparate pentru reţelele de transport de foarte înaltă tensiune necesită o strînsă conlucrare între constructorii de aparate şi utilizatori.

În actualul cincinal se pun în funcţiune grupurile româneşti de 330 MW, iar pînă în anul 1980 va fi asimilat şi pus în funcţiune primul grup românesc de 600—700 MW. În prezent, tensiunea de 400 kV este tensiunea cea mai înaltă a reţelelor din ţara noastră, putîndu-se transporta printr-o astfel de linie 600—800 MW. În perspectiva dezvoltării sistemului se întrevede necesitatea unor tensiuni şi mai înalte, 750—1 100 kV, cu o capacitate de transport a arterelor de ordinul miilor de MW.

Aceste cîteva cifre ilustrează ritmurile de dezvoltare a sistemului nostru energetic, precum şi complexitatea problemelor care se pun.

— O problemă deosebit de importantă atît în etapa actuală de dezvoltare a sistemului energetic cît şi în perspectivă o constituie siguranţa în funcţionare a sistemului energetic. Importanţa acestei probleme este subliniată şi de atenţia acordată de conducerea de partid analizei şi măsurilor luate pentru creşterea siguranţei în funcţionare a sistemului.

Nu întîmplător una dintre problemele discutate pe larg în cadrul acestei conferinţe a constituit-o fiabilitatea sistemelor.

Referatele prezentate au arătat progresele obţinute de şcoala românească de calcul al fiabilităţii.

Studiile de fiabilitate au drept scop să furnizeze criterii numerice obiective pentru aprecierea siguranţei în funcţionare de către cei ce au de luat decizii în legătură cu construirea de noi obiective energetice, pentru stabilirea măsurilor de ridicare a continuităţii în exploatare.

Din referatele prezentate şi din discuţiile purtate a rezultat ca necesară o coordonare a gradului de siguranţă a alimentării din sistem cu cel al instalaţiilor electrice ale consumatorilor. Totodată luarea unor măsuri în instalaţiile tehnologice poate conduce în unele cazuri mai eficient la ridicarea nivelului de siguranţă al ansamblului decît mărirea căilor şi surselor de alimentare.

S-a evidenţiat, din analiza siguranţei în funcţionare, că adoptarea unor soluţii economice simple este încă mult îngreunată din cauza parametrilor încă scăzuţi ai echipamentelor. Apare ca necesară o preocupare mai susţinută pentru aceste probleme din partea constructorilor de aparate.

În lumina Decretului 304 privind siguranţa în funcţionare se remarcă preocupările în direcţia fundamentării gradului de siguranţă. Stadiul actual de dezvoltare a sistemului conduce în mod obiectiv la necesitatea introducerii unor clauze contractuale cu furnizorii de aparataj cu privire la garantarea unui anumit nivel de fiabilitate.

În acest sens considerăm că şi pe viitor este necesară o strînsă colaborare între producătorii de aparataj electroenergetic, energeticienii care proiectează şi exploatează sistemul şi utilizatorii, în vederea adoptării celor mai raţionale şi economice măsuri pentru creşterea siguranţei în funcţionare şi alimentare cu energie electrică a consumatorilor.

În discuţiile purtate cu privire la siguranţa în funcţionare s-au subliniat importanţa şi rolul exploatării prin componentele sale : tehnicitatea, disciplina personalului de exploatare operativ, calitatea activităţii profilactice şi a reparaţiilor etc.

Dezvoltarea şi exploatarea economică a instalaţiilor energetice este de neconceput în actuala etapă de dezvoltare fără ajutorul tehnicii moderne de calcul. O proiectare economică a unui sistem energetic cu un grad mare de siguranţă necesită dezvoltarea metodelor moderne de analiză şi sinteză a sistemelor, urmărirea funcţionării lor în condiţii optime neputîndu-se efectua decît utilizînd calculatoarele de caracteristici corespunzătoare. O serie de referate prezentate au punctat etapele de dezvoltare a metodelor de calcul în domeniul energetic şi au subliniat tradiţiile care există în acest domeniu în ramura energiei electrice.

Introducerea calculatoarelor de proces pentru supravegherea şi optimizarea funcţionării sistemului energetic este concepută astfel ca să se asigure o centralizare a funcţiunilor legate de producţia şi transportul energiei electrice şi o descentralizare a funcţiunilor legate de distribuţia energiei electrice. Pe această cale se urmăreşte realizarea creşterii continuităţii în funcţionare. Discuţiile purtate au marcat importanţa introducerii de mici calculatoare în staţii şi centrale electrice pentru ca, descentralizat, să se facă o supraveghere corespunzătoare a funcţionării unităţilor importante, să se obţină pe această cale creşterea siguranţei în funcţionare.

Printre referatele prezentate şi în discuţii nu au lipsit nici problemele concrete ale proiectării şi exploatării sistemelor şi instalaţiilor energetice. Se menţionează printre acestea referatele privind protecţia contra supratensiunilor şi coordonarea izolaţiei, protecţia prin relee, scheme de alimentare a marilor consumatori, care au scos în evidenţă noi posibilităţi de creştere a siguranţei în funcţionare şi a eficienţei centralelor şi reţelelor electrice, atît a celor din sistem cît şi a celor aparţinînd consumatorilor.

O atenţie deosebită va trebui acordată utilizării energiei electrice în mediul urban şi rural, ca o pîrghie importantă în gospodărirea raţională a energiei.

Această întîlnire a specialiştilor energeticieni din diferitele domenii de activitate a constituit un fructuos schimb de păreri şi o confruntare a realizărilor şi ideilor de viitor. Considerăm că această întîlnire a fost utilă şi cu ajutorul participanţilor la lucrările secţiei s-au subliniat problemele majore ale energeticii din ţara noastră.

*Preşedintele secţiei a VII-a*
Prof. dr. ing. V. Nitu.

**LISTA REFERATELOR SECŢIEI A 7-a**

**Sisteme de producere, transmisie şi utilizare a energiei electrice**

1. V.I. Nitu, D. Voinea, N. Bordeian : Perspective în dezvoltarea sistemului energetic românesc.
2. B. Stoleru, D. Voinea : Concepţii actuale în realizarea staţiilor de foarte înaltă tensiune în România.
3. L. Groza, A. Cristovici, D. Mark : Probleme şi perspective ale introducerii tensiunilor ultraînalte în R.S.R.
4. P. Iancovici : Stadiul actual şi perspective în problema surselor de putere reactivă pentru sistemul energetic naţional
5. V.I. Nitu, M. Stein, A.M. Petrescu, G. Pipa : Studiul siguranţei în funcţionare — factor determinant în stabilirea premiselor generale asupra concepţiei şi exploatării sistemului şi instalaţiilor energetice.
6. M. Brădescu : Metodă generală de calcul privind problemele de fiabilitate într-un sistem electroenergetic.
7. H. Albert : Analiza siguranţei în funcţionare a unui complex energetic.
8. Lup Liviu : Fiabilitatea agregatelor din centralele electrice şi importanţa ei asupra investiţiilor în sistemele electroenergetice.
9. L. Groza, S. Ionescu, B. Ungureanu : Realizări şi perspective privind metodele de analiză a funcţionării sistemului energetic.
10. S. Ionescu, I. Petcu, M. Gălăţeanu : Echivalenţi de sistem în studiul stabilităţii dinamice.
11. P. Militaru, Dian Günter, Segall Sorin : Scurtcircuite pe linii electrice aeriene, repartiţia curenţilor, efectele lor termice, măsuri de protecţie.
12. H. Albert, S. Marcu, V. Romert, A. Spînu : Noua concepţie de dotare tehnică a comenzii operative prin dispecer a sistemului energetic naţional cu mijloace de prelucrare automată a informaţiilor.
13. D. Marinconda, F. Setti, S. Pignone (Italia) : Măsurarea şi înregistrarea electrică a aburului cu calculatorul PS—PAC 4010.
14. Andres Zelyko : Concepţie de automatizare a transportului cărbunelui în centralele termoelectrice.
15. G. Grigoriu, G. Stănciulescu : Prelucrarea automată a informaţiilor privind incidentele, avariile şi deteriorările de echipamente din sistemul electroenergetic naţional.
16. A. Cristovici, D. Mark : Evoluţia concepţiei de coordonare a izolaţiei instalaţiilor de înaltă tensiune.
17. A. Popescu : Consideraţii asupra metodelor de protecţie împotriva supratensiunilor atmosferice a staţiilor de foarte înaltă tensiune.
18. I. Chenzbraun, P. Columbeanu, S. Marcu, M. Petran : Concepţii şi realizări în protecţia prin relee a reţelelor electrice şi în automatizările de sistem .
19. S. Popescu : Obţinerea unor caracteristici funcţionale noi pentru sistemul de protecţie de distanţă RDT—2.

20. P. Columbeanu, D. Pătraşcu : Probleme specifice ale protecţiei prin relee şi automatizări la partea electrică a blocurilor de mare putere.

21. E. Neniţă, N. Vintilescu, C. Bădescu, O. Tenea, M. Horodischi, D. Mark, D. Pătrăeşcu : Orientări în concepţia părţii electrice a centralelor termoelectrice clasice.

22. I. Carabulea : Contribuţii la studiul proiectării şi exploatării optime a centralelor electrice cu ajutorul modelării matematice.

23. D. Creţu, Zlatanovici, Craioveanu : Regimul termic al hidrocentralelor de la Porţile de Fier funcţionînd subexcitat.

24. D. Ivas : Scheme de racordare a consumatorilor mari şi consideraţii asupra metodelor de apreciere a acestor scheme.

25. H. Albert, Gh. Creţu : Asigurarea continuităţii în alimentarea consumatorilor industriali prin insularizare.

26. R. Morar, N. Potachi, E. Simion, R. Munteanu : Cercetări privind o problemă nouă de utilizare a energiei electrice în agricultură.

27. C. Papagheorghe, D. Miron, D. Donici : Cîteva considerații tehnico-economice privind încălzirea electrică a locuinţelor. Aspectele acestei probleme în condiţiile ţării noastre.

28. M. Duma, M. Brădescu : Direcţii necesare de dezvoltare tehnică a producţiei interne de elemente şi echipamente de automatizare pentru sectorul energetic.

29. B. Máthé, N. Badea : Staţia de încercări de mare putere alimentată din sistemul electroenergetic al ICENERG.

30. D. Cristescu, P. Postolache : Utilizarea sondelor de măsură a cîmpului electric în modelarea zonelor de protecţie a paratrăsnetelor.

31. H. Cristea : Regimurile electrice ale sistemelor electroenergetice.

32. D-tru Cristescu, P. Postolache : Folosirea calculatorului analogic pentru determinarea nivelului supratensiunilor atmosferice în staţiile electrice.

33. D. Mark, I. Nan, G. Georgescu, M. Loghin : Proiectarea, realizarea şi încercarea barelor capsulate tip BECA 5000–10 000 A.

# Recenzii

**L. A. MELENTIEV şi V. A. VENIKOV. Cibernetica şi modelarea în energetică. Culegere de articole apărută sub redacţia Academiei de ştiinţe a U.R.S.S.** Nauka, Moskva, 1972.

Volumul prezentat cuprinde 22 de articole, rezultatul colaborării a 54 de autori sovietici de prestigiu, care au prezentat aceste lucrări în secţia „Cibernetica şi modelarea matematică în energetică", secţie ce face parte din Consiliul de cibernetică al Academiei de Ştiinţe a U.R.S.S.

Tematica articolelor se referă la problema aplicării metodelor cibernetice şi a modelării matematice în conducerea operativă a sistemelor electroenergetice. În cele ce urmează se indică lista articolelor incluse în lucrare.

a) Electroenergetice :

1. V. A. Venikov, N. D. Anisimova, H. K. Krug şi E. A. Artemieva. Aplicarea metodelor statistice pentru planificarea experimentării şi calculelor în vederea evaluării stabilităţii statice în cazul luării în considerare a avariilor care afectează parametrii schemelor regimurilor sistemelor electrice.

2. A. Z. Gamm, L. A. Krum, N. A. Muraşko, I. N. Rudenko, S. A. Sovalov şi I. A. Ser. Sistemul de algoritme pentru conducerea regimurilor sistemului electroenergetic unic al U.R.S.S.

3. A. K. Cernoveţ, E. I. Golmştok şi V. A. Maksimov. Repartiţia economică a puterilor active în sistemele energetice cu centrale nuclearoelectrice cu considerarea restricţiilor.

4. I. V. Litkens. Regimurile oscilaţiilor electroenergetice stabilizate — măsură în vederea creşterii stabilităţii sistemelor electrice.

5. V. P. Vasin. Stabilitatea şi pasivitatea sistemelor liniare de ordin mare.

6. V. P. Vasin, V. P. Omelicenko şi D. A. Fiodorov. Cercetări pe diferite scheme ale sistemului de înaltă frecvenţă de excitaţie a turbogeneratoarelor.

7. V. G. Holmschii, I. V. Scerbina, V. H. Belîi, N. I. Nefedov şi I. E. Gaba. Aplicarea metodei modelării cibernetice la rezolvarea problemelor electroenergetice.

8. D. P. Lediankin şi V. P. Pomazkin. Modelare pentru cercetarea influenţei mersului asincron asupra stabilităţii sincrone a generatoarelor în sisteme complexe.

9. I. M. Gorski şi N. I. Gorskaia. Unele probleme ale modelării informaţionale şi ale programării marilor sisteme.

10. A. I. Agheev. Alegerea instalaţiilor de corectare ale generatoarelor care modelează parţial sistemul în regimul micilor oscilaţii.

11. V. V. Buevici, V. E. Kaştelian, M. S. Fraghin, M. Z. Heifeţ şi A. A. Iurganov. Despre posibilitatea reglării puterii turbinelor cu aburi în regimuri de avarie ale sistemului.

12. V. V. Buevici. Caracteristici dinamice ale unei scheme de acţionare a generatoarelor de modelare.

13. V. V. Buevici, V. V. Kiciaev şi G. M. Smolin. Experienţa de exploatare şi problemele perfecţionării modelelor electrodinamice.

14. V. A. Venikov, M. I. Smelienskii, I. N. Astahov, G. S. Borcianinov, E. N. Zuev şi V. S. Okolotin. Despre perspectivele aplicării liniilor electrice de transport criogenice şi a conductelor de curent.

15. A. K. Cernoveţ, N. E. Leske şi V. N. Litvinov. Aplicarea calculatoarelor electronice la calculul siguranţei bateriilor de condensatoare prin metoda încercărilor statistice.

16. I. P. Rîjov şi D. N. Aminova. Evaluarea parametrilor echipamentului şi a caracteristicilor surselor statice de putere reactivă cu comutarea artificială a ventilelor la funcţionarea la 400 Hz.

17. O. A. Suhanov. Regimul static al comutatoarelor de curent continuu cu element inductiv neliniar.

18. O. A. Suhanov. Metodă de calcul al comutatoarelor de curent continuu.

19. B. A. Ghese. Supratensiuni la rotor în regimuri asincrone şi protecţia împotriva lor.

b) Termoenergetice :

1. G. B. Leventali, L. S. Popîrin şi V. Ia. Rîjkin. Problemele modelării matematice şi optimizarea complexă a instalaţiilor termoenergetice.

2. M. P. Simoiu, P. T. Reznikovski, F. A. Bulman şi N. S. Horikov. Metode optimale de modelare matematică a echipamentului termoenergetic de bază din centralele electrice.

3. V. B. Sergheeva. Alegerea ecuaţiilor de stare ale apei şi aburului pentru calculele schemelor termice ale instalaţiilor termice.

Articolele ce alcătuiesc volumul „Cibernetica şi modelarea în energetică" examinează numeroase aspecte referitoare la modelarea regimurilor de funcţionare ale sistemelor electroenergetice privite ca sisteme mari, cibernetice, precum şi a instalaţiilor componente ale acestora.

Sistemul electroenergetic este considerat ca fiind o componentă a economiei energetice şi de combustibil a unei ţări, care reprezintă un ansamblu complex de sisteme mari, cibernetice, şi anume : sistemul electroenergetic, sistemul de alimentare cu gaze, sistemul de alimentare cu petrol şi sistemul de alimentare

cu cărbune. Aceste sisteme mari artificiale sînt caracterizate printr-un anumit grad de organizare ce implică prezența funcției de „conducere", adică a acelei funcții care asigură evoluția sistemului către un scop determinat.

Funcțiile conducerii unui sistem mare cibernetic pot fi diferite, conform intervalelor de timp pentru care se examinează dezvoltarea, evoluția sistemului, și anume :

— conducerea operativă de dispecer în limitele unei zile sau ale unui sezon al anului ;

— conducerea economică în cursul unui an ;

— conducerea pe perioade de 5 sau 10—15 ani și prognoza pe 20—25 de ani.

Metodele de conducere a sistemelor sînt diferite, în funcție de intervalele de timp în care se examinează evoluția sistemului. Astfel, pentru conducerea operativă de dispecer și, într-o oarecare măsură, și pentru conducerea în timpul unui an, sistemele energetice sînt luate în considerare ca sisteme tehnice ce prezintă următoarele caracteristici :

— partea cea mai importantă a legăturilor acestor sisteme are un caracter material (sisteme de conductoare și sisteme de conducte) ;

— sînt cunoscute procesele și fenomenele care au loc în aceste sisteme și pot fi modelate matematic cu suficientă exactitate ;

— omul apare în procesul de conducere în principal în calitate de operator.

În situațiile în care se examinează procesul de conducere pentru o perioadă de unul sau mai mulți ani, sistemele energetice urmează să fie examinate ca sisteme economice ; legăturile dintre elementele sistemului sînt legături informaționale, care corelează într-un mod determinat acțiunile organizate ale colectivelor umane.

În anumite sisteme energetice caracterizate prin faptul că procesele de producție, de transport, distribuție și consum au loc cvasisimultan (fără discontinuitate în timp), o importanță deosebită capătă conducerea operativă de dispecer a proceselor tehnologice și a regimurilor.

Astfel de sisteme sînt sistemele electroenergetice.

Pentru realizarea conducerii sistemelor electroenergetice, caracterizate printr-o structură deosebit de complexă, care să conducă la asigurarea unor regimuri de funcționare sigure și economice, este necesară crearea unor instalații complet automatizate, bazate pe aplicarea largă a celor mai moderne mijloace electronice și a metodelor matematice. În acest sens se poate vorbi despre crearea sistemelor electroenergetice cibernetice.

În vederea asigurării dezvoltării sistemelor electroenergetice în perspectivă, sarcina conducerii se rezumă la alegerea unei structuri optimale a sistemului. Aceasta presupune efectuarea unui important volum de calcule pentru obținerea datelor necesare evaluării tehnico-economice a unui mare număr de variante, ceea ce este posibil numai prin utilizarea metodelor matematice moderne și a calculatoarelor electronice.

Crearea unui sistem armonios și riguros secvențial de conducere a sistemelor electroenergetice, ce conține calculatoare electronice și oameni, reprezintă o problemă complexă, care implică :

— Complexitatea structurii ierarhice a sistemului.

— Legături directe și inverse cu economia națională.

— Influența substanțială asupra dezvoltării sistemului, a unor evenimente aleatorii obiective și subiective, și anume :

— abateri de la consumurile de energie și combustibil predeterminate în evaluările de la faza de proiectare ;

— oscilații ale hidraulicității rezervelor de apă în lacurile de acumulare și în bazinele rîurilor ;

— oscilații ale temperaturii aerului exterior ;

— lipsa de certitudine în ceea ce privește asimilarea capetelor de serie ale echipamentelor energetice noi ;

— lipsa de certitudine în ceea ce privește noile resurse energetice ;

— abateri ale indicatorilor efectivi de costuri de la valorile admise în calcule.

Din cele arătate mai sus rezultă că informațiile inițiale care stau la baza soluțiilor problemelor de conducere a sistemelor trebuie considerate ca avînd un caracter probabilistic. Din această cauză și soluțiile obținute nu pot fi considerate riguros univoce. Varianta unică a soluției, găsită cu ajutorul unor modele matematice, nu poate fi decît formal optimală.

De obicei se obțin mai multe variante apropiate de varianta optimă formal, diferențele bănești dintre ele fiind mai mici în general decît eroarea probabilistică care afectează informațiile inițiale. Ca urmare, în cazul examinării dezvoltării în perspectivă a sistemelor electroenergetice, se poate vorbi numai de determinarea unei strategii optimale, a unei direcții de dezvoltare a sistemului. Problema fundamentală ce se pune în acest caz este evidențierea succesiunii celei mai probabile și a celei mai economice variante de construire a instalațiilor și a legăturilor sistemului.

O importanță deosebită trebuie acordată următoarelor două probleme :

— perfecționarea criteriilor de optimizare (scopul conducerii) ;

— construirea unui sistem informațional corespunzător scopurilor conducerii.

Sînt în curs de desfășurare numeroase cercetări în domeniul teoriei conducerii sistemelor mari în energetică ; stimulate de necesități practice acestea vor trebui să ducă la schimbarea radicală a metodelor și a mijloacelor de exploatare, de proiectare și de planificare în energetică. Cercetările se află la începutul dezvoltării lor, autorii și organizațiile străduindu-se să elaboreze metode matematice pentru rezolvarea acelor probleme particulare care le par a fi cele mai importante. Pentru a putea face recomandări referitoare la unele sau altele dintre metodele de cercetare — în cazul dat metodele matematice — este necesar să se cunoască însușirile principale ale sistemului, volumul și autenticitatea informațiilor privind sistemul dat. De aceea se poate considera că etapele principale de cercetare în domeniul formării teoriei conducerii sistemelor mari în energetică sînt următoarele :

— crearea unei clasificări fundamentale a acestor sisteme, a însușirilor principale ale legăturilor directe și inverse ;

— studiul însușirilor sistemelor mari în energetică, dintre care cele mai importante sînt : ierarhizarea structurii, evoluția în timp și stabilitatea economică ;

— crearea metodelor de construire a sistemelor informaționale pentru diferite categorii de conduceri : tehnologice, teritoriale și pentru diferite intervale de timp ;

— elaborarea celor mai perfecționate mijloace și metode de conducere a sistemelor mari în energetică (modele matematice, mijloace cibernetice și calculatoare electronice, metode organizatorice de conducere a colectivelor de muncă).

Spațiul rezervat unei astfel de prezentări nu permite investigarea fiecărui articol din lucrare, deși acest lucru ar fi util. Din cele 22 de articole a fost reținut pentru prezentare articolul „Sistemul de algoritme pentru conducerea regimurilor sistemului electroenergetic unic al U.R.S.S.", care prezintă ansamblul diferitelor aspecte referitoare la asigurarea regimurilor economice, parametrilor admisibili de regim și siguranței în alimentarea consumatorilor în sistemul electroenergetic al U.R.S.S., ce poate fi considerat unic prin proporțiile și complexitatea lui.

Conducerea regimurilor sistemelor electroenergetice se poate interpreta ca un proces de luare a hotărîrilor și de realizare a unor acțiuni de conducere, care să minimizeze în intervalul de timp dat cheltuielile de exploatare.

Sistemul de conducere a sistemului electroenergetic unic al U.R.S.S. se bazează pe principiul ierarhic, și anume :

— ierarhic în spațiu (teritorial) ;

— ierarhic în timp ;

— ierarhic de situații (regimuri normale, de avarie și de după avarie).

Se deosebesc următoarele niveluri ierarhice ale conducerii :

— sistemul electroenergetic unic al U.R.S.S. ;

— sistemele electroenergetice interconectate ;

— sistemele electroenergetice raionale ;

— obiectele energetice — centralele electrice, raioanele de rețele și stațiile.

Structura generală a sistemului de conducere conține următoarele blocuri de rezolvare a problemelor :

— biblioteca de informații ;

— sistemul de algoritme care asigură conducerea regimurilor de lungă durată ;

— sistemul de algoritme care asigură conducerea regimurilor de scurtă durată ;

— sistemul de algoritme pentru conducerea operativă a regimurilor.

# Informații tehnice

Atomic Energy Canada a comandat la ASEA — Suedia — un compensator sincron răcit cu hidrogen pentru o capacitate de 160 Mvar. Acest compensator va fi folosit pentru stabilizarea tensiunii rețelei de 230 kV, va avea lungimea de 10 m, diametrul de 5 m și 250 t.

ASEA a mai livrat pentru centrala electrică Dumon din S.U.A. un compensator sincron cu răcire cu apă de 345 Mvar, care este cel mai mare din lume.

După lucrări ce au durat cinci ani se termină în Italia pe malul nordestic al lacului Magiore cea mai mare centrală din lume cu acumulare și pompare de 1000 MW. Această centrală are opt turbine. Lacul Magiore servește ca bazin inferior și lacul Delio, situat la o înălțime de peste 700 m, ca bazin superior. Centrala și conductele forțate sînt subterane.

In cele șase țări din Piața Comună, la 31 decembrie 1971 situația centralelor nucleare era după cum urmează:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Cu gaz-grafit | 2 565 MWe | adică | 19,1 % |
| Cu apă fierbinte | 3 681 MWe | adică | 27,4 % |
| Cu apă ușoară | 6 391 MWe | adică | 47,6 % |
| Cu apă grea | 221 MWe | adică | 1,6 % |
| Răcite cu gaz de temperatură înaltă | 313 MWe | adică | 2,3 % |
| Diferite | 41 MWe | adică | 0,3 % |
| Cu regenerare rapidă | 233 MWe | adică | 1,7 % |

Central Electricity Generating Board din Anglia dă costul total de producție al energiei electrice produse de centrale nucleare:

| | |
|---|---|
| Combustibil | 1,744 mills kWh |
| Mînuire combustibil | 0,92 mills kWh |
| Exploatare | 0,560 mills kWh |
| Reparații întreținere | 0,439 mills kWh |
| Total... | 2,835 mills kWh |

Acest cost este cu 62 % mai mic decît costul energiei electrice produse cu combustibili convenționali, care se ridică la 7,526 mills/kWh.

In ianuarie 1972 la reactorul cu apă sub presiune al centralei nucleare de 662 MWe de la Stade (R. F. a Germaniei) s-a produs prima reacție în lanț. Miezul are 157 de elemente combustibile cu un conținut de 56 t uraniu îmbogățit. Cu această primă încărcare de combustibil nuclear se vor produce 11 miliarde kWh, echivalente cu 3,5 milioane t cărbune.

*(Energie, 1972, nr. 2, p. 45—47)*

Conducerea de stat energetică din Suedia a luat hotărîrea introducerii transportului energiei electrice la tensiunea de 750 kV în partea de sud a țării.

Punerea în funcțiune a liniei se preconizează la sfîrșitul acestui deceniu.

*(Energohozeaistvo za rubejom, 1972, nr. 2)*

In anul 1971 în Franța s-au produs 149 TWh energie electrică. Puterea totală instalată a centralelor electrice însuma 41,4 GW dintre care 25,9 GW în termocentrale. În aceeași perioadă EdF a exportat 1,4 GWh.

Creșterea consumului în raport cu anul 1970 a fost de 5,3 %. În anul 1971 a fost instalată o putere de 2,5 GW.

*(Résultats techniques d'exploitation 1971, EdF, ian.)*

Producția de energie electrică a S.U.A. a fost în anul 1971 de 1 618 TWh. Puterea instalată a crescut, în raport cu anul 1970, cu 9,1 %, atingînd valoarea de 389,4 GW. Rezerva de putere a fost în medie de 21 %. Investițiile în construcțiile din energetică au fost în cursul anului 1971 de 12 miliarde de dolari.

Companiile de electricitate au cheltuit în anul 1971 pentru măsuri antipoluante aproximativ 6 miliarde de dolari.

*(Energy International, nr. 3, martie 1972)*

Revista „ENERGETICA" —organ al Ministerului Energiei Electrice și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din R.S. România (CNIT). Redacția: București, str. Galați nr. 5—7, Sectorul II, Tel. 13 66 83, 13 00 53- Instituțiile pot achita abonamente pentru biblioteci și cabinete tehnice în contul nostru de virament nr. 30.01 01.00 B.N.R.S.R. — Sectorul VI. Tarif pentru Întreprinderi lei 100 anual. Tarif pentru muncitori, tehnicieni și ingineri lei 30 anual. Prețul unui exemplar lei 5

Taxele poștale plătite în numerar conform aprobării D.G.P.T. nr. 10,1095, 1967

I.P.I. c. 1868

# INTREPRINDEREA DE PIESE RADIO ŞI SEMICONDUCTORI BĂNEASA

Str. EROU IANCU NICOLAIE Nr. 32
BUCUREŞTI II — ROMÂNIA
TELEFON 33.38.30 TELEX 011.203
SERV. DESFACERE: 33.53.22 — 33.53.17

*Produce:*

## COMPONENTE PASIVE

### REZISTOARE

— cu peliculă de carbon
— bobinate

### TERMISTOARE CERAMICE

— cu coeficient de temperatură negativ

### CONDENSATOARE

— polistiren (tip STYROFLEX)*
— poliester metalizat (tip MYLAR)**
— hîrtie metalizată
— hîrtie şi ceară
— hîrtie şi ulei
— pentru echipament auto
— pentru antiparazitare
— electrolitice normale
— electrolitice miniatură
— ceramice de tip I
— ceramice de tip II

### CABLAJE IMPRIMATE

— simplu faţă
— dublu faţă

## COMPONENTE ACTIVE CU Ge

### TRANZISTOARE

— de joasă frecvenţă
de mică putere
de medie putere
de putere
— de înaltă frecvenţă şi drift de mică putere

### DIODE

— cu contact punctiform
— redresoare de medie putere
— fotodiode

## COMPONENTE ACTIVE CU Si

### TRANZISTOARE PLANARE

— de înaltă frecvenţă şi comutaţie

### DIODE

— stabilizatoare de tensiune, de mică putere
— redresoare de mică putere
— redresoare de medie putere
— redresoare pentru puteri mari

## CIRCUITE INTEGRATE

### LOGICE

— de viteză medie
— rapide

### LINIARE

* STYROFLEX: marca înregistrată Nord deutsche Seekabelwerke A.
** MYLAR: marcă înregistrată Du Pont

# I. P. R. S. Băneasa

INTREPRINDEREA

# ELECTROMONTAJ

BUCUREŞTI

Exécute des travaux de montage pour les installations du reseau électrique:

- **Lignes électriques de transport pour tensions jusqu'à 400 kV**
- **Postes de transformateurs à 35 — 400 kV**
- **Réseaux d'éclairage public**
- **Lignes électriques de distribution de haute et moyenne tension**
- **Postes de distribution pour toute puissance et tout rapport de transformation**
- **Lignes électriques en câbles souterrains et sous-fluviaux jusqu'à 110 kV**
- **Electrifications rurales**

*Les travaux de montage sont exécutés par INTREPRINDEREA ELECTROMONTAJ BUCUREŞTI par des procédés technologiques modernes de haute productivité à durées d'exécution minimes et d'un niveau qualitatif élevé*

Carries out erection works for power systems equipment and electrical networks

- Transmission lines for voltage up to 400 kV
- Transformer substations ranging from 35 to 400 kV
- Public lighting networks
- Distribution lines of high and medium voltage
- Substations for any capacity and transformation ratio
- Underground and under-river electrical cables up to 110 kV
- Rural electrifications

*The erection works are carried out by ÎNTREPRINDEREA ELECTROMONTAJ BUCUREŞTI by high productivity modern technological processes, in short delivery times and at high quality level*

Bucureşti, Str. Candiano Popescu nr. 1, Sectorul 5, tel. 23.88.30 telex 011.208

# ICMP

ÎNTREPRINDEREA DE CONSTRUCŢII METALICE ŞI PREFABRICATE
BUCUREŞTI, Str. Acţiunii nr. 2, sector 5
telefon : 23 87 20

E X E C U T Ă :

- Celule metalice prefabricate de interior şi exterior 10 şi 20 kV pentru staţii de transformare;

- Celule metalice prefabricate de interior 10 şi 20 kV pentru posturi de transformare;

- Posturi de transformare metalice prefabricate de exterior de 10 şi 20 kV;

- Elemente de distribuţie şi conexiuni pentru posturi de transformare şi staţii electrice de transformare;

- Panouri de comandă, protecţie şi servicii proprii din staţiile electrice de transformare pînă la 400 kV;

- Stîlpi din beton armat centrifugat şi vibrat pentru linii electrice şi staţii electrice de transformare pînă la 220 kV;

- Cleme şi armături de racord, suspensie şi tracţiune pentru linii electrice şi staţii aeriene pînă la 400 kV şi linii electrice în cablu pînă la 20 kV;

- Elemente pentru legături electrice între grupuri generatoare şi transformatoare (ecrane cilindrice monofazate, ecrane trifazate, cutii de borne) de 5 000 A şi 10 000 A cu tensiuni pînă la 20 kV.

celpi — MARCA ÎNREGISTRATĂ

# I.E.C. CRAIOVA

Produce şi furnizează prin instalaţiile sale, în condiţii de siguranţă şi calitate:

- energie electrică, sistemului electroenergetic naţional şi consumatorilor de energie electrică din zonă;
- căldură, consumatorilor industriali din zonă.

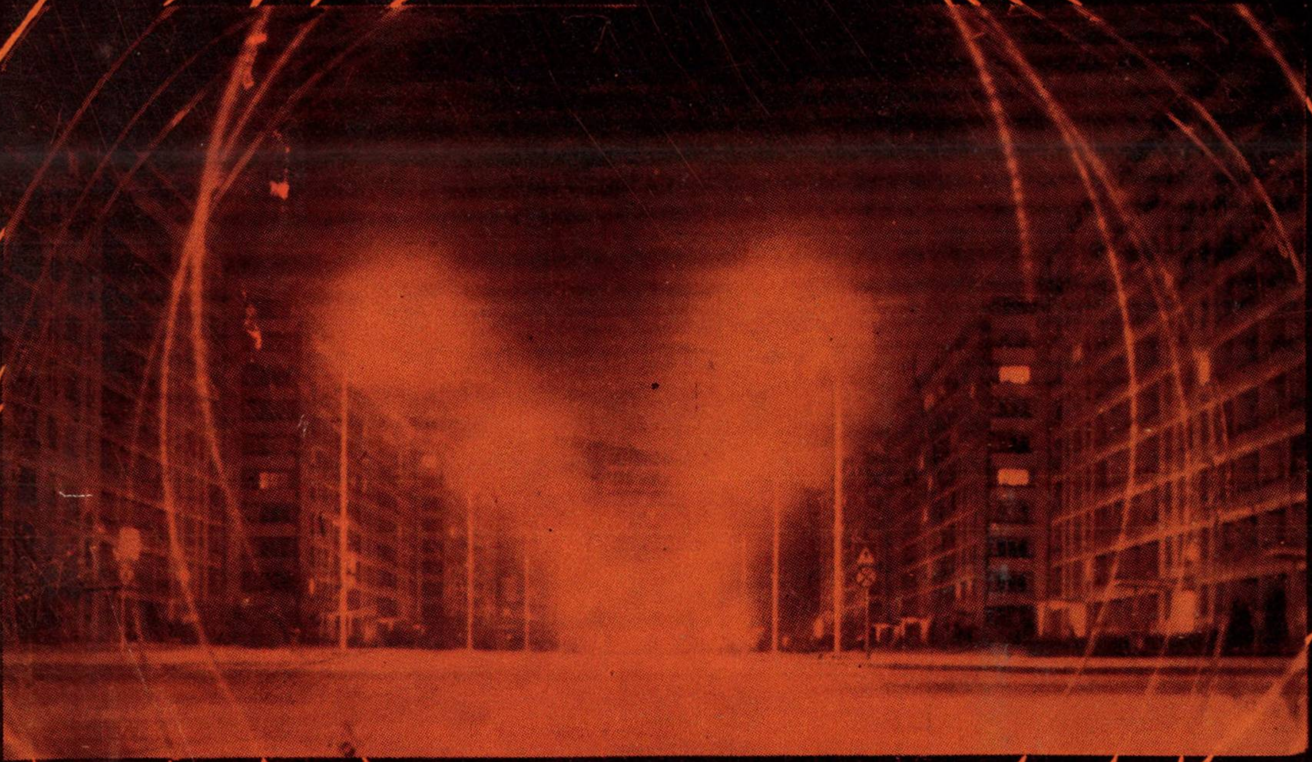
Centrala Electrică de Termoficare - Craiova dispune de grupuri generatoare de mare putere şi de instalaţii moderne, cu un înalt grad de automecanizare şi de concentrare a comenzilor, ceea ce asigură funcţionarea continuă a centralei în perfecte condiţii tehnice şi economice.

Cenuşa livrată de centrală se poate utiliza de fabricile de ciment la elaborarea betonului celular autoclavizat, din care se realizează cărămizi uşoare, panouri mari pentru hale industriale, stîlpi uşori, izolaţii termice hidrofuge şi fonice, precum şi alte produse necesare industriei construcţiilor şi materialelor de construcţii

ÎNTREPRINDEREA ELECTROCENTRALE CRAIOVA

Căsuţa poştală nr. 39 jud. Dolj

# IRE PIATRA-NEAMȚ



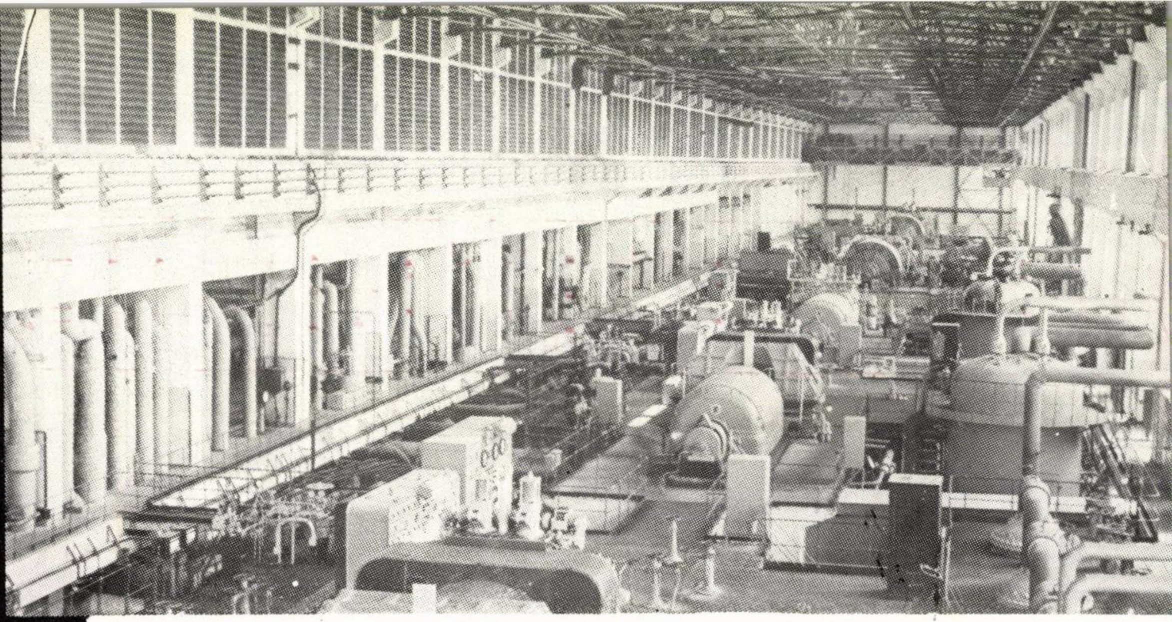
- Distribuie energie electrică la toate categoriile de consumatori de pe teritoriul jud.Neamț.
- Proiectează și execută prin unitățile sale:
  - instalații electrice de medie și joasă tensiune;
  - instalații electrice de iluminat;
  - instalații electrice interioare și branșamente.

ÎNTREPRINDEREA DE REȚELE ELECTRICE PIATRA-NEAMȚ

str. Parcurilor nr. 12 jud. Neamț

IEC

BORZEŞTI



Întreprinderea Electrocentrale Borzeşti furnizează energie electrică sistemului energetic naţional, prin centralele sale Borzeşti şi Iaşi, care au o putere totală instalată de 705 MW.

- Prin CET Borzeşti asigură alimentarea cu energie electrică şi căldură a platformei industriale Borzeşti şi a oraşului Gh. Gheorghiu-Dej.

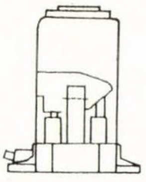
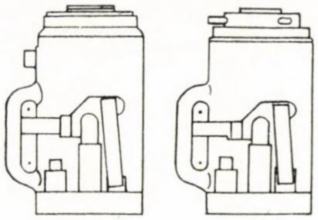
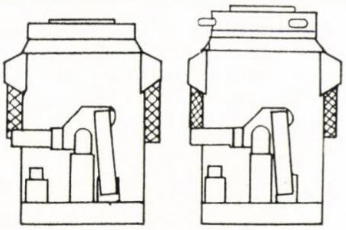
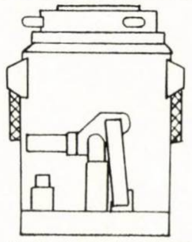
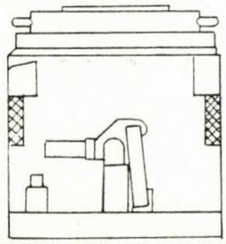
- Prin CET Iaşi asigură alimentarea cu energie electrică şi căldură a consumatorilor industriali şi casnici din zona oraşului Iaşi.

ÎNTREPRINDEREA ELECTROCENTRALE BORZESTI

ORAŞUL GH. GHEORGHIU-DEJ, JUD. BACĂU

o nouă gamă de cricuri hidraulice:

# cricuri hidraulice «ATLAS»

| VEDERE DE ANSAMBLU | Capacitatea de ridicare t.f. | TIPUL | CONSTRUCTIA | Inălţimea minimă mm | Masa kg |
|---|---|---|---|---|---|
|  | 12 | AS 12/160 | Fără piuliţă de blocare | 235 | 15 |
|  | 20 | AS 20/160 | Fără piuliţă de blocare | 292 | 22,5 |
| | | ASP 20/160 | Cu piuliţă de blocare | 300 | 24,4 |
|  | 30 | AS 30/160 | Fără piuliţă de blocare | 293 | 33 |
| | | ASP 30/160 | Cu piuliţă de blocare | 808 | 35 |
|  | 50 | ASP 50/160 | Cu piuliţă de blocare | 326 | 52 |
|  | 100 | ASP 100/160 | Cu piuliţă de blocare | 333 | 115 |

Destinate operaţiilor de ridicare, coborîre şi deplasare a sarcinilor grele pe distanţa de 160 mm, cricurile Atlas se remarcă prin greutatea, gabaritul şi presiunea pe sol reduse şi printr-o manevrabilitate uşoară.

PROMETEU

**I.I.S. ENERGOREPARAŢII**

BUCUREŞTI, SECTORUL 5, BD. MĂRĂŞEŞTI, Nr. 7, TEL. 23.26.40

# I.R.E. ORADEA

- *Transportă şi distribuie* :
  - energie electrică în rețelele electrice de înaltă, medie şi joasă tensiune;

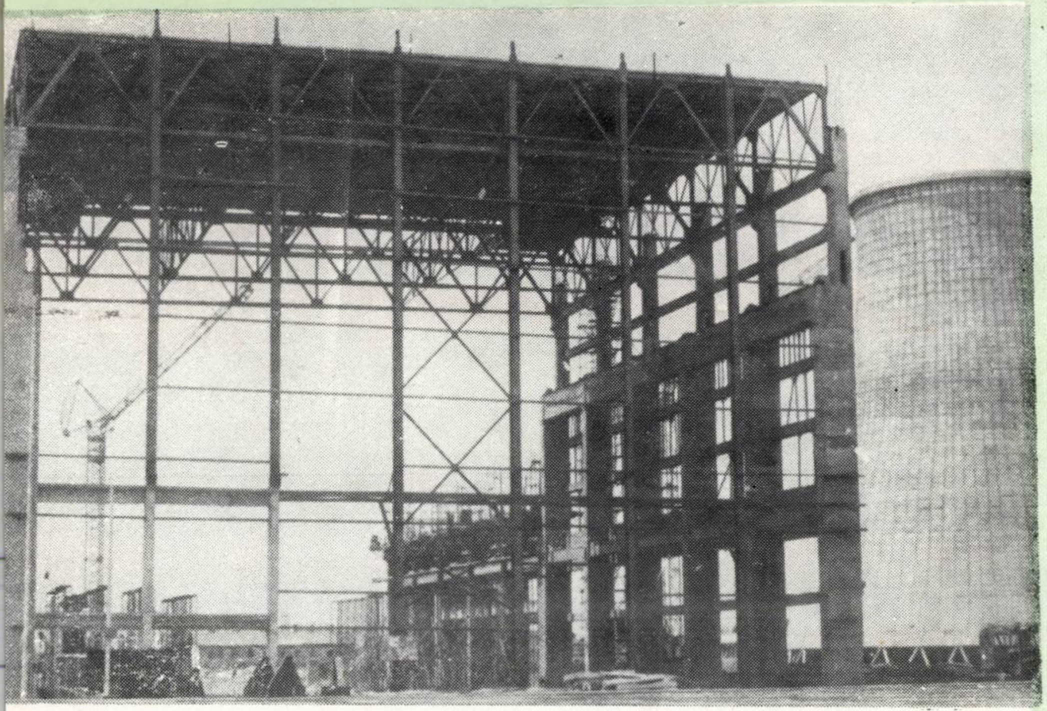
- *Proiectează* :
  - posturi şi stații de transformare;
  - linii electrice aeriene şi subterane de transport şi distribuție;
  - instalații de iluminat;

- *Construieşte* :
  - linii electrice aeriene şi subterane;
  - linii electrice de medie tensiune şi posturi de transformare pentru electrificări rurale;

- *Execută* :
  - instalații electrice interioare şi branşamente atît pentru unitățile socialiste cît şi pentru particulari.

**ÎNTREPRINDEREA DE REȚELE ELECTRICE – ORADEA**

*Str. Grivіței nr. 32, jud. Bihor*



# TCME

**TRUSTUL DE CONSTRUCŢII ŞI MONTAJE ENERGETICE**
*— B U C U R E Ş T I —*

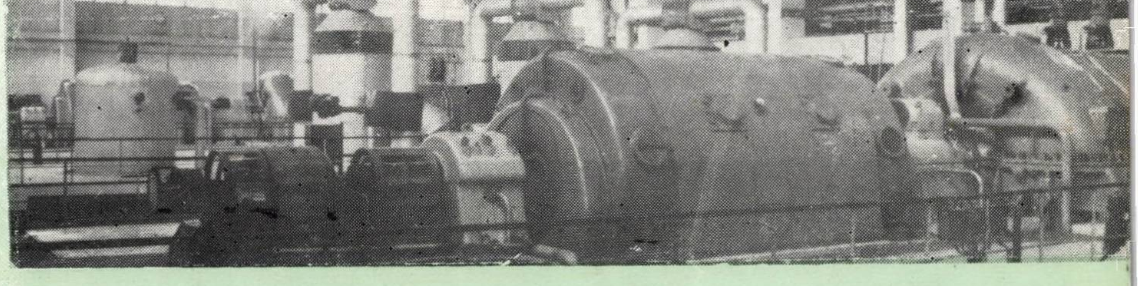
*Calea Moşilor nr. 158* *Sectorul 4*
*telefon: 16.63.30.* *telex 271*

Execută prin unităţile sale:

- **Lucrări de construcţii termoenergetice:**
  - — centrale termoelectrice
  - — termoficări urbane şi industriale
  - — construcţii hidrotehnice aferente centralelor termoelectrice
  - — coşuri de fum prin glisare, cu înălţimi pînă la 250 m
  - — turnuri de răcire cu tiraj natural şi tiraj forţat
  - — montaje de prefabricate grele din beton armat pentru orice construcţie termoenergetică

- **Lucrări de montaj pentru centrale termo şi hidroelectrice**
  - — cazane de abur moderne de mari capacităţi cu parametri ridicaţi
  - — turbine cu abur pînă la 345 MW
  - — turbine cu gaze pînă la 35 MW
  - — turbine hidraulice pînă la 176 MW
  - — generatoare electrice
  - — compensatoare sincrone
  - — instalaţii termomecanice şi hidromecanice pentru centrale termoelectrice şi hidroelectrice
  - — instalaţii electrice de joasă, înaltă şi foarte înaltă tensiune, aferente centralelor electrice
  - — instalaţii de măsură, control, automatizare, atît la partea mecanică cît şi la partea electrică.

- **Lucrările de construcţii şi montaje se execută de către Trustul de Construcţii şi Montaje Energetice prin metode tehnologice moderne de mari productivităţi, în durate de timp minime şi la un înalt grad de calitate.**



# INTREPRINDEREA Energomontaj

EM

*Exécute:*

- Le montage, la mise en fonction et la mise en exploitation des équipements et installations énergétiques pour centrales thermiques et hydro-électriques :

ÉQUIPEMENTS ET INSTALLATIONS POUR CENTRALES THERMIQUES ET CENTRALES POUR LA PRODUCTION COMBINÉE CHALEUR/FORCE :

- chaudières à vapeur de grande capacité et à paramètres élevés de fonctionnement
- turbines à vapeur de puissances unitaires jusqu'à 350 MW
- installations de combustible pour : charbon, mazout, gaz
- autres installations méchaniques, afférentes aux centrales thermiques : récipients, conduites, pompes etc.

ÉQUIPEMENTS ET INSTALLATIONS POUR CENTRALES HYDRO-ÉLECTRIQUES ET INSTALLATIONS HIDROTECHNIQUES :

- turbines hydrauliques de tout type, à puissances unitaires jusqu'à 176 MW
- conduites forcées
- équipements et autres installations mécaniques pour centrales hydro-électriques et thermiques
- équipements et installations pour écluses

ÉQUIPEMENTS ET INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES POUR CENTRALES THERMIQUES, HYDRO-ÉLECTRIQUES, POSTES DE TRANSFORMATEURS ET INSTALLATIONS SPÉCIALES

- installations de commutation primaire jusqu'à une tension de 400 kV y compris
- installations pour les services auxiliaires aux centrales et postes de transformateurs
- installations de commutation secondaire
- installations d'automatisation, etc.

1973 APR 1

*Carries out :*

Erection, operation and commissioning of power equipments and installations for thermal and hydro-electric power plants

INSTALLATIONS AND EQUIPMENTS FOR THERMAL POWER PLANTS AND FOR COMBINED HEAT AND POWER PLANTS:

- boilers of high capacity and high operational parameters
- steam turbines up to 350 MW per unit
- fuel installations for : coal, fuel-oil, gas
- other mechanic equipment necessary for thermal power plants : tanks, pipes, pumps, etc.

EQUIPMENTS FOR HYDRO-ELECTRIC POWER PLANTS AND HYDRO-TECHNICAL INSTALLATIONS :

- hydraulic turbines of all types, up to 176 MW per unit
- penstocks
- other mechanic equipment for hydro-electric power plants
- equipments and installations for locks

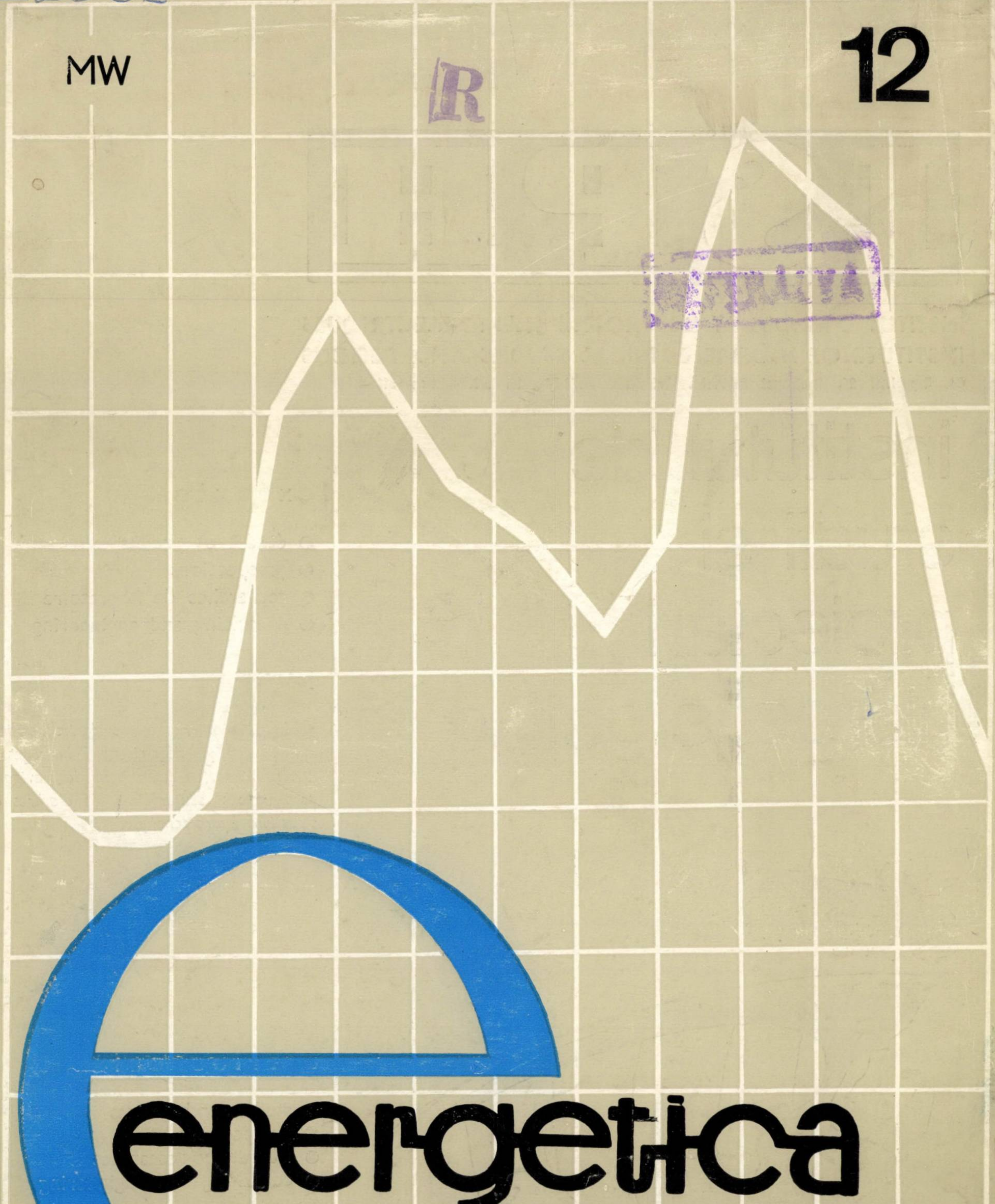
ELECTRIC EQUIPMENT FOR THERMAL AND HYDRO-ELECTRIC POWER PLANTS, SUBSTATIONS, TRANSFORMER POSTS AND SPECIAL INSTALLATIONS :

- primary switching installations up to 400 kV
- indoor service installations in power plants and transformer posts
- secondary switching installations
- automation equipment, etc.

BUCUREŞTI, Sectorul 1, Calea Dorobanţi nr. 105
Tel : 12.76.30, telex : 335

E 2039
R

12




# energetica

VOLUMUL XX
BUCUREŞTI • DECEMBRIE 1972

# ISPH

INSTITUT D'ETUDES ET DE PROJETS HYDRO-ELECTRIQUES
INSTITUTE OF HYDROELECTRICAL STUDIES AND DESIGNS

Bd. Republicii 29, Bucharest Romania. Telephone 14.72.70 ; 15.89.60. Telex : 011 — 413

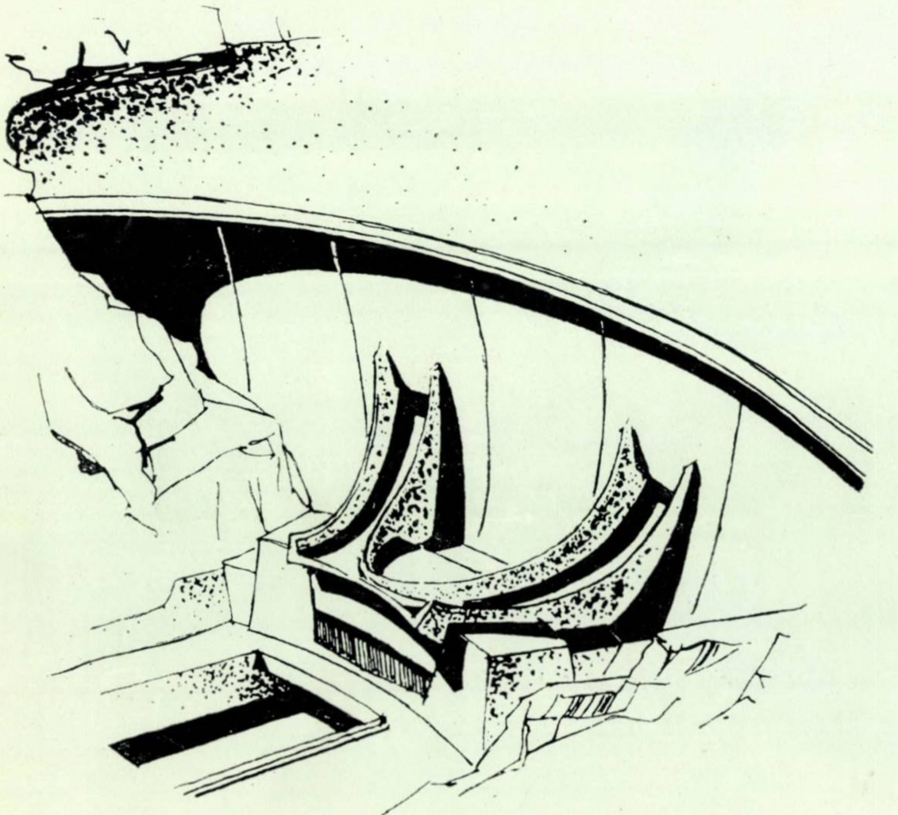
# institutul de studii și proiectări hidroenergetice

**exécute**

- études et projets
- prospections
- recherches de laboratoire
- consulting and engineering

**pour**

*schémas d'aménagements hydroélectriques, centrales hydroélectriques, barrages de divers types, écluses pour la navigation, constructions souterraines ét d'autres constructions hydrotechniques*



**carries out**

- studies and designs
- prospections
- laboratory researches
- consulting and engineering

**for**

*schemes for hydro-electric developments, hydro-electric plants, different types of dams, navigation locks, underground constructions and other hydraulic works*

# ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 20 Nr. 12 DECEMBRIE


## Cuprinsul


| | | Pag. |
|---|---|---|
| * * * | **La a 25-a aniversare a Republicii** | 537–538 |
| *Militaru, P.* | **Simpozionul de iluminat electric, București, 29 noiembrie–1 decembrie 1971** | 539–540 |
| *Militaru, P.* | **Masa rotundă cu tema: „Cercetarea științifică în domeniul iluminatului"** | 541–543 |
| *Sufrim, E.* | **Metodă grafică pentru proiectarea instalațiilor de iluminat industrial** | 544–547 |
| *Pașa, B.I.* | **Metodă rapidă de calcul al iluminatului interior direct cu lămpi fluorescente** | 547–552 |
| *Centea, O. și Mira, N.* | **Nomograme cu puncte aliniate pentru calculul componentei directe a iluminării determinate de panouri luminoase de formă dreptunghiulară** | 552–559 |
| *Bianchi, C.* | **Metodă de control al calității iluminatului din punctul de vedere al distribuției luminanțelor în încăperile de lucru din construcțiile civile** | 559–566 |
| *Prisăcaru, V., Stavrescu, O., Botez, C. și Popescu, G.D.* | **Aplicarea calculatoarelor electronice la calculul fotometric al instalațiilor de iluminat** | 566–571 |
| *Irinei, C.* | **Dezvoltarea tehnicii surselor de lumină. Perspectiva introducerii de noi surse** | 571–574 |
| *Palade, I.* | **Principalele direcții și tendințe în evoluția iluminatului căilor publice** | 574–579 |

**RECENZII**

**DOCUMENTARE**

**CUPRINSUL REVISTEI „ENERGETICA" vol. XX (1972)**



C O M I T E T U L D E R E D A C Ț I E

Prof. univ. emerit ing. I. D. STĂNCESCU, redactor responsabil, ing. Gr. IORGULESCU, redactor responsabil adjunct, conf. ing. I. A. BADEA, ing. ST. BERENGHI, conf. ing. A. COGĂLNICEANU, dr. ing. P. DIMO, membru corespondent al Academiei Republicii Socialiste România, laureat al Premiului de Stat, ing. H. FURTUNESCU, ing. P. IFTIME, ing. L. IUCA, ing. B. MARCU, dr. ing. A. MĂCRIȘ, conf. ing. C. MIHĂILEANU, prof. dr. ing. V. I. NIȚU, ing. A. SPÎNU, ing. R. ZANE



**OFICIUL DE DOCUMENTARE ENERGETICĂ**

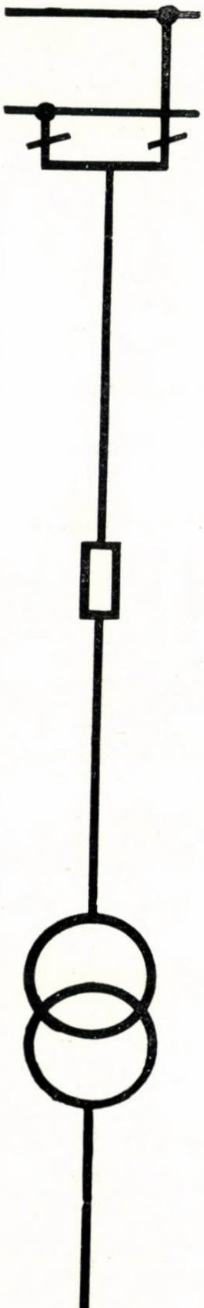
# ICENERG

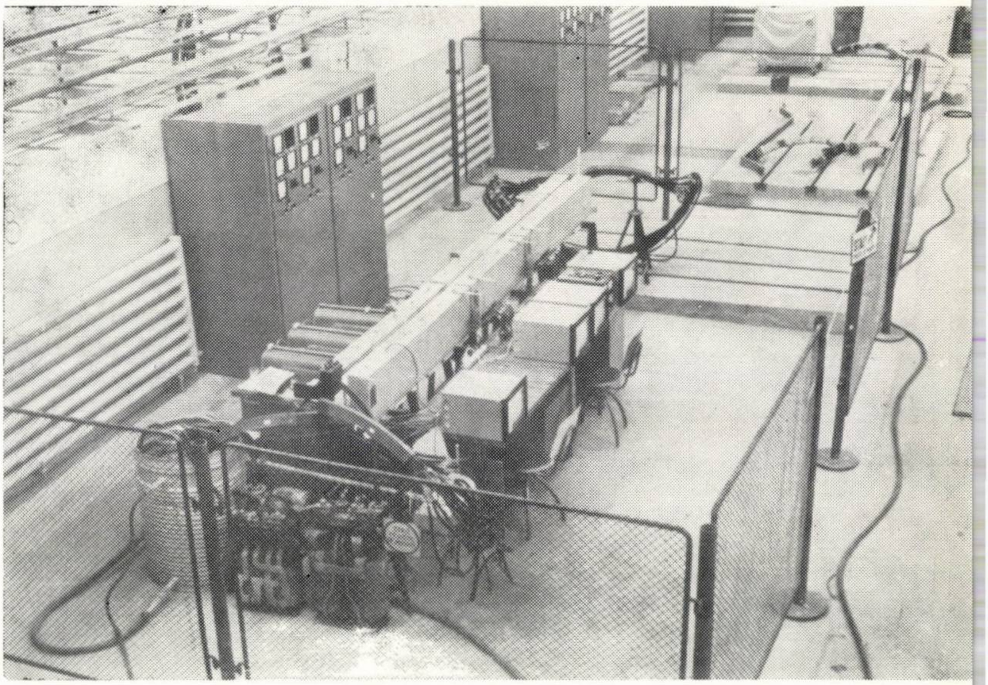
*INSTITUTUL DE CERCETĂRI ELECTROENERGETICE ŞI PENTRU TERMOFICARE*

Bucureşti, sector 4, Str. Doamnei nr. 14—16, Telefon : 16 65 60 — 15 08 90

**EXECUTĂ CERCETĂRI ŞTIINŢIFICE ŞI ACORDĂ ASISTENŢĂ TEHNICĂ PENTRU ASIGURAREA:**

**— dezvoltării sistemului energetic,**
**— exploatării sigure şi economice a instalaţiilor din sistemul energetic naţional.**




## STAŢIA ICENERG DE ÎNCERCĂRI ELECTRICE

**vă stă la dispoziţie pentru:**

- **Cercetări, experimentări şi măsurări privind comportarea în exploatare a echipamentului electric din sistem în regim normal şi anormal de funcţionare**
- **Cercetări şi experimentări privind caracteristicile de exploatare şi de îmbătrînire accelerată a aparatelor şi maşinilor electrice, a cablurilor şi a elementelor de joncţiune**
- **Experimentări [privind rezistenţa la foc a cablurilor electrice**
- **Cercetarea comportării echipamentului electric la vibraţii, zgomote şi solicitări mecanice şi a cauzelor acestora**
- **Cercetări şi măsurări fotometrice pentru optimizarea instalaţiilor de iluminat din centralele electrice şi a iluminatului public**

## СОДЕРЖАНИЕ


ДК 518.2: 658.24

*Суфрим, Е.:* **Графический метод проектирования установок промышленного освещения**

Представляется расчетный метод, с помощью которого можно непосредственно определять либо уровень среднего освещения на рабочей площади, созданной осветительной установкой либо количество светильников, необходимого для определенного уровня освещения. Данные метода представлены в виде графиков и таблиц, позволяя следить за вариацией уровня освещения в зависимости от коэффициента помещения, количества светильников, светового распределения светильника и от коэффициентов рефлексии главных площадей помещения то, что является преимуществом в определении оптимальных осветительной установки.

Energetica 20 (1972), No. 12, стр. 544–547

ДК 628.9: 621.32.001.2

*Паша, Б. И.:* **Быстрый расчетный метод внутреннего непосредственного освещения с флуоресцентными лампами**

Представляется собственный расчетный метод, исходящий из естественной фотометрической кривой. Метод является быстрым, не требует тригонометрических расчетов и дает точные теоретические результаты и в случае светильников, не образующих непрерывный ряд.

Energetica 20 (1972), No. 12, стр. 547–552

ДК 518.2: 628.9

*Чентеа О.* и *Мира, Н.:* **Номограммы с точками расположенными по одной линии в целях расчета непосредственной составляющей освещения световыми панелями прямоугольной формы**

Статья описывает два метода графического расчета коэффициента освещения, обеспечивающие более большую точность. Первый метод требует применения два раза двух номограмм с точками расположенными по одной линии; второй метод использует лишь одну номограмму с точками расположенными по одной линии и другая с отмеченными кривыми. Последний метод представляет преимущества с точки зрения точности и экономичности усилия.

Energetica 20 (1972), No. 12, стр. 552–559

ДК 628.977

*Бианки, К.:* **Метод контроля качества освещения с точки зрения распределения светимости в рабочих помещениях в гражданском строительстве**

Energetica 20 (1972), No. 12, стр. 559–566

ДК 628.9: 681.32

*Присэкару, В., Ставреску, О., Ботез, Г.* и *Попеску, Г. Д.:* **Применение ЭВМ в фотометрическом расчете осветительных установок**

Представлены многочисленные возможности фотометрического расчета на ЭВМ осветительных установок, от разных типов световых источников.

Рассматривается фотометрический расчет непосредственного освещения, затем отраженного освещения на одной площади и в освещенной точке.

Изложены несколько расчетных методов и оригинальный, собственный метод.

Energetica 20 (1972), No. 12, стр. 566–571

ДК 628.9: 658.24

*Ириней, К.:* **Развитие техники источников света. Перспектив внедрения новых источников**

Перечисляются основные этапы техники электрических источников света, а также и настоящее занятие исследователей усовершенствованием классических источников.

Energetica 20 (1972), No. 12, стр. 571–574

ДК 656.057:628.9

*Паладе, И.:* **Основные направления и тенденции в развитии освещения дорог общего пользования**

Анализированы новые направления и тенденции в области освещения общего пользования, его цели, основная электрическая величина в определении размеров установок, роль дорожного покрытия, критерия качества и оценки установок. Применение новых концепций ведет к качественным техническим решениям и экономии капиталовложений, эксплуатации и электроэнергии.

Energetica 20 (1972), No. 12, стр. 574–579


## INHALTSVERZEICHNIS


DK 518.2 : 658.24

*Sufrim, E.* : **Graphische Methode für die Planung der industriellen Beleuchtungsanlagen**

Es wird eine Berechungsmethode vorgestellt, mit deren Hilfe man direkt entweder das mittlere Beleuchtungsniveau, das von einer Beleuchtungsanlage auf der Arbeitsfläche gegeben wird, oder die Anzahl der Beleuchtungskörper, die für die Erlangung eines bestimmten Beleuchtungsniveau notwendig sind angeben kann. Die Grössen der Methode sind in Schaubilder und Tabellen vorgestellt, die eine leichte Verfolgung der Variation des Beleuchtungsniveau in Abhängigkeit von den Wertmessziffern des Raumes, der Aufstellungsdichte der Beleuchtungskörper, der Lichtverteilung des Beleuchtungskörpers und den Wiederspiegelungskoeffizienten der Hauptflächen des Raumes, ermöglichen; dies bildet ein wichtiger Vorteil für die Wahl der optimalen Beleuchtungsanlage.

Energetica 20 (1972), H. 12, S. 544–547

DK 628.9 : 621.32.001.2

*Paşa, B.I.* : **Schnelle Methode für die Berechnung der inneren, direkten Beleuchtung mit Fluoreszenslampen**

Es wird eine eigene Berechnungsmethode vorgestellt, die von der reellen photometrischen Kurve ausgeht. Die Methode ist sehr schnell, benötigt keine trigonometrischen Rechnungen und gibt exakte theoretische Ergebnisse auch für Körper die nicht eine kontinuerlichen Reihe bilden.

Energetica 20 (1972), H. 12, S. 547–552

DK 518 2 : 628 9

*Centea, O.* und *Mira, N.* : **Nomogram mit ausgerichtete Punkte für die Berechnung der direkten Komponente der Beleuchtung, die von rechteckigen, grossen Leuchttafeln verursacht wird**

Der Artikel beschreibt zwei sehr genaue graphische Berechnungsmethoden des Beleuchtungskoeffizienten. Die erste Methode führt zur der Benützung zweier Nomograme mit ausgerichteten Punkte; die zweite Methode benützt ein Nomogram mit ausgerichteten Punkte und eines mit quotierten Kurven. Die letzte Methode ist vorteilhafter, sowohl als Genauigkeit, als auch Bequemlichkeit.

Energetica 20 (1972), H. 12, S. 552–559

DK 628.977

*Bianchi, C.:* **Prüfverfahren der Beleuchtungsqualität vom Standpunkt der Helligkeit in Arbeitsräumen von Wohn- und Bürobauten**

Energetica 20 (1972), H. 12, 559–566

DK 628.9 : 681.32

*Prisăcaru, V., Stavrescu, O., Botez, C.* şi *Popescu, G.D.* : **Die Anwendung elektronischer Rechenmaschinen bei der photometrischen Berechnung der Beleuchtungsanlagen**

Es werden die vielfachen Möglichkeiten für die photometrischen Berechnungen der Beleuchtungsanlagen, von verschiedenen Typen von Lichtquellen, auf elektronischen Rechenmaschinen, vorgestellt. Es wird zuerst die photometrische Berechnung der direkten Beleuchtung behandelt, nachher die der indirekten, auf einer beleuchteten Fläche und einem beleuchteten Punkt. Es werden mehrere Berechnungsmethoden beschrieben und eine eigene, originelle Methode.

Energetica 20 (1972), H. 12, S. 566–571

DK 628.9 : 658.24

*Irinei, C.* : **Die Entwicklung der Technik der Lichtquellen. Die Perspektive der Einführung neuerer Lichtquellen**

Es werden die wichtigsten Etappen der Entwicklung der Technik der Lichtquellen, sowie die heutigen Beschäftigungen der Wissenschaftler für die Perfektionierung der klassischen Lichtquellen. Es werden ebenfalls neue Lichtquellen, die imstande sind, die anspruchvollsten Erfordernisse der Lichtwirksamkeit, der Wiedergabe der Farben und der Dauer zu erfüllen, analysiert.

Energetica 20 (1972), H. 12, S. 571–574

DK 656.057 : 628.9

*Palade, I.* : **Die wichtigsten Richtungen und Tendenzen in der Strassenbeleuchtung**

Es werden die neuen Richtungen und Tendenzen in der Strassenbeleuchtung und deren Zwecke analysiert, die elektrische Grundgrösse für die Dimensionierung der Anlagen, die Rolle der Strassenbedeckung, die Qualitäts- und Abschätzungskriterien der Anlagen. Die Anwendung der neuen Anschauungen führt zu technischen Lösungen hoher Qualität und zu grossen Ersparungen von Investitionen, Betriebsaufwand und elektrischer Energie.

Energetica 20 (1972), H. 12, S. 574–579

## SOMMAIRE

CD 518.2 : 658.24

*E. Sufrim*: **Méthode graphique d'élaborer les projects d'installations d'éclairage industriel**

On présente une méthode de calcul permettant de déterminer directement soit le niveau d'éclairage moyen aux points de travail, soit le nombre de corps éclairants nécessaires pour la réalisation d'un certain niveau d'éclairage. Les données de la méthode se présentent sous la forme de graphiques et de tableaux, permettant de suivre facilement la variation du niveau d'éclairage en fonction de l'indice de la pièce, de la densité d'emplacement des corps éclairants, de la répartition lumineuse des corps éclairants et des coefficients de réflection des principales surfaces de la pièce, ce qui constitue un avantage dans la détermination de l'installation d'éclairage optimale.

Energetica 20 (1972), no. 12, p. 544–547

---

CD 628.9 : 621.32.001.2

*Paşa, B.I.* : **Méthode rapide d'éclairage intérieur direct avec des lampes fluorescentes**

On présente une méthode spécifique de calcul, qui part de la courbe photométrique réelle. La méthode est rapide, elle ne fait pas appel aux calculs trigonométriques et donne des résultats théoriques exacts même pour les corps qui ne forment pas une suite continue.

Energetica 20 (1972), no. 12, p. 547–552

---

DC 518.2 : 628.24

*Centea, O.* et *Mira, N.* : **Nomogrammes à points alignés pour le calcul de la composante directe de l'éclairage fourni par des cadres lumineux de forme rectangulaire**

L'article présente deux méthodes de calcul graphique du coefficient d'éclairage, qui assure une précision beaucoup plus grande. La première méthode demande d'utiliser deux fois chacun des deux nomogrammes à points alignés ; la seconde méthode emploie un seul nomogramme à points alignés et un autre à courbes cotées. La dernière méthode est plus avantageuse comme précision et économie d'effort.

Energetica 20 (1972), no. 12, p. 552–559

---

DC 628.977

*Bianchi, C.*: **Méthode de contrôle de la qualité de l'éclairage du point de vue de la brillance dans les pièces destinées pour le travail**

Energetica 20 (1972), no. 12, p. 559–566

---

CD 628.9 : 681.32

*Prisăcaru, V., Stavrescu, O., Botez, C.* et *Popescu, G.D.* : **Application des calculateurs électroniques au calcul photométrique des installations d'éclairage**

On présente plusieurs possibilités de calcul photométrique, à l'aide des ordinateurs des installations d'éclairage à divers types de sources lumineuses. On présente d'abord le calcul photométrique de l'éclairage direct puis de celui indirect (interréflechi) sur une surface et dans un point éclairé. On présente plusieurs méthodes de calcul et une méthode propre, originale.

Energetica 20 (1972), no. 12, p. 566–571

---

CD 628.9 : 658.24

*Irinei, G.* : **Le développement de la technique des sources de lumière. La perspective de l'introduction de nouvelles sources**

On rappelle les principales périodes de la technique des sources électriques de lumière, ainsi que les préoccupations actuelles des chercheurs de perfectionner les sources classiques. De même, on analyse de nouvelles sources de lumière, capables de répondre aux plus grandes exigences d'efficience lumineuse, de reflexion des couleurs et de durée de vie.

Energetica 20 (1972), no. 12, p. 571–574

---

CD 656.057 : 628.9

*Palade, I.* : **Les principales directions et tendances dans l'évolution de l'éclairage des voies publiques**

On analyse les nouvelles directions et tendances dans le domaine de l'éclairage publique, les buts de celui-ci, la grandeur fondamentale dans le calcul des dimensions des installations, le rôle des revêtements de la route, les critères de qualité et d'appréciation des installations. L'application de nouvelles conceptions conduit à des solutions techniques de qualité supérieure et à des économies d'investissement, d'exploitation et d'énergie électrique.

Energetica 20 (1972), no. 12, p. 574–579

---

## CONTENTS

DC 518.2 : 658.24

*Sufrim, E.* : **Graphic method for industrial lighting system design**

A computation method is shown which makes possible to determinate directly either the average lighting level by the working plan given by a lighting system, or the number of lighting fittings necesary for obtaining a given lighting level. Data on the methods are presented in the form of diagrams and tables, thus allowing to supervise easily lighting level variation as a function of room size, the spacing and luminous distribution of lighting armature, and the reflection rates of main room surfaces, which is advantageous in assessing optimal lighting system.

Energetica 20 (1972), nr. 12, p. 544–547

---

DC 628.9 : 621.32.001.2

*Paşa, B.I.* : **Rapid designing method of direct indoor fluorescent lighting**

A specific computation method is given which is based on the actual photometric curve. The method is rapid, calls for no-trigonometrical calculation and thus accurate theoretical results even for fittings which are not arranged in a continuous row.

Energetica 20 (1972), nr. 12, p. 547–552

---

DC 518.2 : 628.9

*Centea, O.* and *Mira, N.* : **Aligned point nomogram for the computation of the direct lighting component provided by luminous rectangular shaped panels**

The paper describes two graphical computation methods for lighting coefficient which are securing a high accuracy. The first method requires the double use of both the aligned point nomogram ; the record uses a single aligned point nomogram and on a curve nomogram provided with elevation marks. The last method is more advantageous as far as accuracy and labour saving are concerned.

Energetica 20 (1972), nr. 12, p. 552–559

---

DC 628.977

*Bianchi, C.*: **Check method for the illuminating quality from the point of view of the brightness within the work rooms in civil builldings**

Energetica 20 (1972), nr. 12, p. 599–566

---

DC 628.9 : 681.32

*Prisăcaru, V., Stavrescu, O., Botez, C.* and *Popescu, G. D.*: **Application of computers to photometrical assessment of lighting systems**

The photometric computation of direct lighting is first dealt with, and then, that of the indirect one (interreflected), on a lighted surface or spot. A few computation methods and an own original method are described.

Energetica 20 (1972), nr. 12, p. 566–571

---

DC 628.9 : 658.24

*Irinei, C.* : **Development of light source technique. Perspective of new light source introduction**

The main stages of electric lighting sources, as well as present research worker concern about traditional source development, are recalled. The paper analyses also new light sources able to satisfy the highest standards of light efficiency, colour reflection and working life requirements.

Energetica, 20 (1972), nr. 12, p. 571–574

---

DC 656.057 : 628.9

*Palade, I.* : **Main orientation and trends in road lighting development**

The paper analyses new orientation and trends in the field of public lighting ; the objective of the last, the bazic electric size in system rating, the role of pavement, the criteria of quality and system evaluation. The application of the new concepts leads to high quality technical methods and savings in investment, operating and power.

Energetica 20 (1972), nr. 12, p. 574–579

# La a 25-a aniversare a Republicii

Aniversarea în acest an a unui sfert de secol de la proclamarea Republicii noastre constituie un deosebit prilej de retrospectivă în toate domeniile de activitate ale vieţii social-economice, precum şi un moment de investigare realistă a viitorului, utilizînd arma prognozei pe timp îndelungat.

Energetica — acest factor de primă importanţă în definirea gradului de dezvoltare a unei naţiuni — s-a bucurat, încă din primii ani ai cuceririi puterii de către proletariat, de o atenţie deosebită din partea partidului şi a guvernului.

Moştenirea trecutului a fost şi în domeniul energeticii foarte săracă, România fiind una dintre ţările europene care, deşi avea resurse energetice apreciabile, ducea, înainte de eliberarea sa, ca şi în alte domenii, şi în energetică o politică total necorespunzătoare intereselor poporului.

Apreciind că progresul economic şi cultural al unei societăţi moderne nu este posibil fără o puternică bază energetică, capabilă să asigure consumul de energie electrică aflat într-o necontenită creştere, Partidul Comunist Român şi Statul nostru au promovat, după cel de-al doilea război mondial, o politică energetică realistă, planurile de dezvoltare prevăzînd un coeficient mediu de devansare de 1,2 faţă de celelalte ramuri ale economiei naţionale. Ca urmare, în România perioada de dublare a consumului de energie electrică a fost printre cele mai rapide din lume, realizîndu-se o dată la 5—6 ani, faţă de o perioadă de 10—12 ani obţinută pe plan mondial.

Şi ritmul mediu anual de creştere a producţiei de energie electrică a fost în ţara noastră mult mai ridicat decît pe plan mondial. Prin comparaţie, unui ritm de 17,9% realizat în ţara noastră în perioada 1966—1969, i-au corespuns ritmuri de 5% în Anglia, 8,3% în S.U.A., 6,1% în R.D.G., 4,6% în Austria, 7,8% în Cehoslovacia, 6,8% în Italia, 8,7% în Polonia, 8,1% în Ungaria, 11% în Japonia, 10,5% în Iugoslavia şi 9,3% în U.R.S.S. Asigurarea unui asemenea ritm a fost posibilă prin dezvoltarea corespunzătoare a instalaţiilor de producere, transport şi distribuţie a energiei electrice şi termice.

Dacă în 1950 în România exista o putere instalată de circa 740 MW, în 1972 s-a ajuns la circa 9 100 MW, ceea ce înseamnă o creştere de aproape 13 ori faţă de perioada de referinţă.

Construcţia de centrale termoelectrice a cunoscut o evoluţie interesantă, mai ales în privinţa structurii instalaţiilor folosite. Astfel, primele centrale termoelectrice puse în funcţiune imediat după 1950 au avut grupuri cu puteri de 12 şi 20 MW şi puteri totale instalate de 36 MW şi, respectiv, 120 MW, pentru ca în ultimii ani să fie puse în funcţiune grupuri cu puteri unitare de 100, 200 şi 315 MW, ajungîndu-se la puteri totale instalate într-o singură centrală de 800—1000 MW.

Trebuie menţionat că o parte din grupurile instalate în aceste centrale produc concomitent şi energie termică pentru alimentarea cu căldură a marilor centre industriale şi urbane, precum şi a unor importante suprafeţe de sere agricole.

Astfel, centrale electrice de termoficare ca Brazi, Borzeşti, Bucureşti-Sud, Craiova, Govora şi altele se înscriu pe linia unei dezvoltări corespunzătoare a producerii combinate de energie electrică şi termică, acoperind marile cereri de energie şi căldură ale întreprinderilor de pe platformele industriale şi urbane pe care le deservesc.

Intrarea în funcţiune a unor agregate energetice moderne, cu parametri ridicaţi, extinderea termoficării şi ridicarea permanentă a nivelului tehnic al exploatării acestor instalaţii au permis realizarea unei spectaculoase reduceri a consumului specific de combustibil, de la 723 g c.c./kWh în 1955 la 333 g c.c./kWh în 1971, tendinţă de reducere manifestată şi în continuare.

O dezvoltare deosebită a avut şi construcţia centralelor hidroelectrice. Centrala hidroelectrică „V. I. Lenin“ de la Bicaz, cu o putere instalată de 210 MW, a constituit una dintre amenajările energetice remarcabile din Europa anilor 1955—1962, fiind urmată de punerea în funcţiune a altor 12 hidrocentrale în aval, realizîndu-se astfel o valorificare raţională a resurselor hidroenergetice ale rîului Bistriţa.

Continuînd politica de utilizare complexă a resurselor hidroenergetice ale rîurilor interioare, în anii următori a fost construită centrala hidroelectrică Corbeni de pe rîul Argeş, cu o putere instalată de 220 MW, centrală amplasată în subteran, al cărei baraj de beton în arc, cu o înălţime de 165 m, se situează printre marile baraje de acest fel din Europa.

Intrarea în funcţiune a centralei hidroelectrice de la Porţile de Fier, construită între anii 1964 şi 1971, cu o putere instalată de 2050 MW şi o producţie medie anuală de peste 10 miliarde kWh, împărţită paritar între cele două state constructoare, R. S. România şi R. S. F. Iugoslavia, a constituit un mare succes al energeticienilor români şi iugoslavi prin proporţiile sale şi prin volumele mari şi complexe de lucrări pe care le-a implicat, figurînd printre marile obiective energetice din lume. Prin soluţiile tehnice aplicate, Sistemul hidroenergetic şi de navigaţie de la Porţile de Fier reprezintă totodată o cale eficientă de îmbunătăţire a navigaţiei în această zonă a Dunării, permiţînd creşterea de peste 3,5 ori a traficului de mărfuri şi punerea în valoare a zonei turistice din apropierea oraşului Drobeta-Turnu Severin, prea puţin valorificată pînă în prezent. De asemenea, realizarea acestui gigant energetic a demonstrat cît de rodnică poate fi cooperarea reciproc avantajoasă între două state vecine şi prietene.

Din retrospectiva energeticii româneşti în cei 25 de ani de construcţie intensă nu ar putea lipsi prezentarea lucrărilor de construcţie a centralei hidroelectrice de mare cădere de pe rîul Lotru, aflată acum în plină desfăşurare, la care primul grup de 178 MW a fost deja pus în funcţiune. Centrala va avea în final o putere instalată de 500 MW, cu un amplu sistem de tuneluri de aducţiune, care vor colecta apa din toate bazinele învecinate, realizîndu-se concentrarea puterii într-un număr redus de agregate mari. Utilizarea uneia dintre cele mai favorabile resurse hidroenergetice ale ţării, prin amenajările complexe prevăzute, va permite şi punerea în valoare economică şi turistică a unei frumoase zone, de asemenea puţin valorificată.

Succesele energeticii româneşti n-ar fi fost însă posibile fără participarea constructorilor români de echipamente electro, hidro şi termoenergetice. Remarcabile sînt realizările uzinelor „Electroputere“ — Craiova, ale Uzinelor constructoare de maşini Reşiţa şi ale Uzinei de maşini grele Bucureşti. Şi dacă ar fi să exemplificăm, este revelator să arătăm contribuţia industriei româneşti la construirea echipamentelor necesare Sistemului hidroenergetic şi de navigaţie de la Porţile de Fier, materializată prin construcţia unor echipamente noi, în concepţie proprie, ca rod al gîndirii româneşti, sau prin asimilarea unor produse străine care sînt executate pentru nevoile ţării noastre.

Prin conjugarea tuturor forţelor care concură la proiectarea şi construcţia echipamentelor energetice şi la proiectarea şi construcţia obiectivelor energetice, România poate în prezent să ofere pentru export realizarea de obiective energetice complete.

Numai astfel putem înțelege ce pași uriași s-au făcut de la instalațiile și echipamentele anilor 1951 la ceea ce sîntem capabili să facem astăzi atît pentru noi cît și pentru export. România își propune în viitor să realizeze cooperări cu alte țări, începînd de la studii și proiecte, livrări de echipamente și pînă la asistența tehnică acordată de specialiștii români la construirea unor importante obiective energetice. În acest sens, o interesantă colaborare se va realiza cu U.R.S.S., pe rîul Prut, la Stînca – Costești.

O politică energetică corespunzătoare s-a dus și în domeniul dezvoltării și modernizării sistemului de transport și distribuție a energiei electrice, corelîndu-se această dezvoltare cu industrializarea din ce în ce mai accentuată a țării, ceea ce a condus la creșterea sarcinilor impuse rețelelor electrice.

După închegarea sistemului energetic național, în 1960, prin interconectarea tuturor sistemelor regionale și a tuturor centralelor electrice, s-a trecut la realizarea rețelelor la tensiunile de 220 și 400 kV.

În prezent, sistemul electroenergetic național este interconectat cu sistemele U.R.S.S., R.S.C., R.P.P., R.P.U. și R.D.G. prin linia de 400 kV Luduș – Lemesany, care traversează U.R.S.S. pe la Mukacevo. Schimburi de energie electrică se fac cu R.P.B., prin linia de 220 kV Craiova – Boicinovți, și cu R.S.F.I., prin linia de 110 kV Timișoara – Kikinda. Recent s-a inaugurat linia de 400 kV Arad – Timișoara – Szeged, care face legătura cu R.P.U.

În ultimii ani a crescut considerabil exportul de energie electrică în țările vecine. România este una dintre puținele țări europene care, grație succeselor ei, exportă încă energie electrică.

Cooperarea în cadrul sistemului electroegenergetic al țărilor membre ale C.A.E.R., care reprezintă o formă modernă de întrajutorare a statelor socialiste, oferă posibilități largi de acoperire a curbei de sarcină atît în condiții normale cît și în situația unor avarii în sistemele țărilor membre. În acest fel se asigură continuitatea în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor, evitîndu-se pagubele materiale pe care le provoacă întreruperea alimentării. Înzestrarea cu energie electrică a muncii a crescut în România foarte mult, ajungînd în 1971 la aproape 13 000 kWh pe muncitor industrial, cifră aflată în deplină concordanță cu dezvoltarea industrială a țării noastre. Acest indicator este prevăzut să crească la 18 000 kWh în 1975 și la circa 22 000 kWh în 1980, ca urmare a evoluției rapide a mecanizării și automatizării proceselor industriale. Pentru obținerea acestor indici, puterea instalată va crește corespunzător, fiind sporită cu circa 5 800 MW pînă în anul 1975 și cu 13 000 – 13 800 MW pînă în 1980.

Politica energetică de perspectivă are ca linie directoare folosirea rațională a resurselor energetice primare ale țării noastre. Astfel va crește ponderea cărbunilor, a energiei hidraulice și energiei nucleare, scăzînd ponderea hidrocarburilor.

Pe această linie, cel puțin 35 % din puterea nou instalată în centralele termoelectrice se va realiza cu agregate de termoficare. Minimum 50 % din acest spor de putere se va instala în centrale termoelectrice care folosesc cărbune inferior. De aceea centralele termoelectrice vor fi amplasate în apropierea bazinelor carbonifere, obținîndu-se astfel indici favorabili în ansamblul extracției de cărbuni – producerea energiei electrice.

Va crește pînă în 1980 ponderea energiei hidroelectrice datorită unui vast program de amenajări hidroenergetice, acordîndu-se prioritate amenajărilor capabile să asigure folosirea complexă a apelor, pentru energetică, irigații, alimentarea cu apă a centrelor urbane, precum și pentru navigație.

Aceste direcții respectă cu strictețe sarcinile trasate de Congresul al X-lea al P.C.R., constituind parametri ai planului de perspectivă energetică.

În etapa imediat următoare România urmează să intre în categoria țărilor europene dotate cu centrale nuclearoelectrice.

Realizarea acestor deziderate presupune, bineînțeles, un efort deosebit din partea energeticienilor români, mai ales dacă se ține seama de faptul că realizarea unor astfel de sarcini este dificilă chiar și pentru țări puternic industrializate.

Apare ca o necesitate imediată dezvoltarea, în același ritm, a sistemului electroenergetic național, paralel cu dezvoltarea capacităților de producere a energiei electrice și a căldurii. Astfel, în perioada 1970 – 1975 este prevăzută construirea a peste 2000 km linii electrice aeriene, la tensiunea de 220 – 400 kV, 4 000 km linii de 110 kV și circa 20 000 km linii de medie și joasă tensiune.

Pentru a se realiza un program atît de vast, vor fi luate în continuare o serie de măsuri importante, capabile să contribuie la ridicarea neîncetată a nivelului tehnic al energeticii românești.

În felul acesta, prin activitatea creatoare desfășurată în domeniile planificării și analizei sistemului energetic, al construcției de centrale electrice, de linii electrice de înaltă tensiune și stații de transformare, printr-o concepție tehnico-științifică proprie, energetica românească se situează la nivelul energeticii din țările avansate.

# Simpozionul de iluminat electric

**București, 29 noiembrie — 1 decembrie 1971**

*Între 29 noiembrie și 1 decembrie 1971 au avut loc lucrările Simpozionului de iluminat electric, prima manifestare din țară în acest domeniu. Simpozionul a fost organizat de Consiliul Național al Inginerilor și Tehnicienilor și de Comitetul Național Român pentru Comisia Internațională de Iluminat.*

*La această manifestare au fost prezentate de către specialiști din țară 13 referate, dintre care două au provenit din laboratoare uzinale, trei din institute de cercetare, trei din institute de proiectare, trei din institute de învățămînt și două din alte organizații.*

*La simpozion au participat trei personalități marcante în domeniul iluminatului electric din Franța și Olanda, și anume : Maurice Déribéré, directorul Centrului de iluminat și informații privind aplicațiile luminii, Emile Barthès, directorul unui centru de cercetări în domeniul lămpilor cu descărcări și expert al Comitetului tehnic pentru surse și radiații vizibile din cadrul Comisiei Internaționale de Iluminat, și Joh Jansen, redactorul șef al Revistei internaționale de iluminat, expert al mai multor comitete tehnice din cadrul Comisiei Internaționale de Iluminat.*

*Simpozionul a fost deschis în ziua de 29 noiembrie 1971 prin cuvîntul de salut al președintelui Comitetului Național Român de Iluminat, dr. ing. Paul Militaru, care a prezentat și raportul general al comitetului. După deschidere s-a trecut la expunerea referatelor.*

*Referatele specialiștilor români au constituit o parte din roadele studiilor, cercetărilor, proiectelor și realizărilor diferitelor colective din țară, în domeniul iluminatului electric. În cele ce urmează sînt prezentate cîteva probleme mai importante conținute în referate.*

*Cîteva referate s-au ocupat de metodele de calcul luminotehnic, reflectînd preocupările specialiștilor pentru creșterea preciziei calculului parametrilor luminotehnici și a indicilor de calitate ai instalațiilor de iluminat, fără să se mărească considerabil volumul de muncă (referatele prezentate de Eugenia Sufrim, Florica Lungu, Dimitrie Țipa, Bogdan Pașa, Ovidiu Centea, Nicolae Mira, Cornel Bianchi).*

*O sinteză valoroasă a unor metode de calcul utilizate în iluminat, algoritmele și schemele logice de calcul, principiile de elaborare a programelor pentru calculatoare în limbaj FORTRAN reprezintă conținutul referatului colectivului Nicolae Prisăcaru, Octav Stavrescu și Claudia Botez.*

*Referatul ing. Eugenia Sufrim expune soluții interesante pentru stabilirea nivelurilor de iluminat în funcție de gradele de dificultate vizuală și de principiile ergonomice ce trebuie luate în considerare la instalațiile de iluminat industrial.*

*Un alt referat prezintă tendințele și direcțiile în evoluția iluminatului căilor publice pe plan mondial (autor ing. Ion Palade).*

*Dezvoltarea surselor de lumină în R.S. România, perspectivele introducerii de noi surse, realizarea în țară a lămpilor cu incandescență cu ciclu regenerativ cu halogeni sînt probleme care au fost tratate în referatele prezentate de Constantin Irinei, Gheorghe Rotărescu, Elena Ursu și Andrei Bandi. Ultimele două lucrări au prezentat instalațiile de iluminat interior și exterior moderne, concepute și realizate în țara noastră, printre care Sala mare și Sala mică a Palatului, Galeria națională de artă, Aeroportul internațional Otopeni, hoteluri de pe litoral, iluminatul nocturn al stadionului „23 August" (autori Alexandru Băilescu, Dimitrie Țipa, Valentin Marinescu, Georgeta Ioniță).*

*În cadrul simpozionului, invitații de peste hotare au prezentat următoarele comunicări :*

*— Maurice Déribéré : „Evoluția iluminațiilor festive și a spectacolelor de sunet și lumină în Franța" și „Aspectele psihologice ale luminii și culorii în iluminat" ;*

*— Emile Barthès : „Cercetări asupra unor noi surse de lumină" și „Aplicațiile datelor psihologice și fizice în domeniul iluminatului electric" ;*

*— Joh Jansen : „Tendințe actuale în evoluția iluminatului interior și exterior".*

*Referatele au expus realizările de vîrf ale tehnicii iluminatului, în domeniul surselor, al instalațiilor de iluminat interior și exterior și al spectacolelor de sunet și lumină, cu referiri la cele mai noi clădiri administrative, centre urbane și artere moderne de circulație din țările occidentale. Expunerile au fost ilustrate prin numeroase diapozitive în culori.*

*În timpul simpozionului participanții au putut viziona filme în culori despre Expoziția internațională Osaka — Japonia 1970.*

*Cuvîntul de închidere a simpozionului a fost rostit de dr. ing. Paul Militaru, președintele Comitetului Național Român de Iluminat. Printre concluziile care s-au desprins din lucrările simpozionului se pot cita următoarele :*

a) *În domeniul calculelor luminotehnice există tendința de a se utiliza din ce în ce mai mult metode mai exacte, deci mai complicate. Introducerea unor astfel de metode este permisă de folosirea calculatoarelor în studiile, proiectele și cercetările de iluminat. Este necesar să se dezvolte în țara noastră utilizarea calculatoarelor în domeniul iluminatului.*

b) *În ceea ce privește proiectarea instalațiilor de iluminat, se manifestă în continuare tendința ca dimensionarea lor să se facă ținînd seama de nivelurile și de repartiția luminanțelor, în loc de valorile iluminărilor.*

c) *La realizarea instalațiilor de iluminat a apărut pe plan mondial necesitatea de a se ține seama de o serie de factori psihologici, care contribuie la crearea confortului vizual.*

d) *În domeniul iluminatului interior au fost prezentate o serie de instalații moderne ca sisteme integrate (iluminat și ventilații), birouri peisajate, interioare combinînd armonios iluminatul natural cu cel artificial etc. Astfel de instalații vor fi desigur introduse în viitor și în țara noastră.*

e) *Soluțiile tehnice nou introduse în iluminatul exterior sînt, printre altele, iluminatul stadioanelor și al terenurilor sportive la niveluri foarte ridicate de iluminat, care să permită televizarea jocurilor, iluminarea în diferite culori funcționale a arterelor de circulație, utilizarea unor stîlpi foarte înalți, iluminarea nodurilor de artere de circulație suprapuse, utilizarea lămpilor cu vapori de sodiu, fîșii luminoase pentru iluminatul autostrăzilor.*

f) *Legătura strînsă dintre arhitecți și inginerii de iluminat se impune din ce în ce mai mult, pentru ca instalațiile de iluminat să-și atingă scopul și să se integreze în arhitectura construcțiilor.*

g) *Lărgirea sortimentelor de lămpi și de aparate de iluminat care se fabrică în țară este o condiție de bază pentru realizarea unor instalații la nivelul atins în țările avansate.*

h) *Cercetarea în domeniul iluminatului trebuie să fie dezvoltată în țara noastră. În acest domeniu cercetarea devine din ce în ce mai complexă. La cercetare trebuie să fie antrenate persoane de diferite specialități : ingineri, fizicieni, arhitecți, psihologi, fiziologi.*

i) *Îmbunătățirea învățămîntului superior în domeniul iluminatului și chiar reciclarea cadrelor care se ocupă de problemele de iluminat este o necesitate actuală în majoritatea țărilor europene, ca și în țara noastră.*

*În ziua de 1 decembrie 1971, după închiderea lucrărilor simpozionului, a avut loc o masă rotundă a Comitetului Național Român pentru Iluminat, la care au participat invitații de peste hotare, cu tema „Cercetarea științifică în domeniul iluminatului". La această masă rotundă s-a făcut un schimb util de păreri asupra unor probleme ca : organizarea cercetării, introducerea în fabricație a rezultatelor cercetărilor, preocupările actuale ale cercetărilor în domeniul surselor de lumină, utilizarea calculatoarelor în domeniul iluminatului, învățămîntul în domeniul iluminatului. Specialiștii de peste hotare ne-au comunicat stadiul actual și tendințele de viitor în problemele științifice ale iluminatului.*

*Lucrările simpozionului au prezentat un deosebit interes, înregistrîndu-se o participare largă atît la ședințele de dimineață, cît și la cele de după-amiază.*

*Prin nivelul tehnico-științific ridicat al referatelor prezentate, prin contribuția deosebit de valoroasă a specialiștilor străini, simpozionul a adus o contribuție importantă la dezvoltarea cercetării științifice și la introducerea tehnicii avansate în domeniul iluminatului în țara noastră.*

**Dr. ing. P. Militaru**

# Masa rotundă cu tema „Cercetarea științifică în domeniul iluminatului"

La 1 decembrie 1971, după închiderea Simpozionului de iluminat electric, a avut loc la București o masă rotundă a Comitetului Național Român de Iluminat cu specialiștii de peste hotare participanți la simpozion, tema dezbaterilor fiind „Cercetarea științifică în domeniul iluminatului".

Prima problemă pusă în discuție s-a referit la obiectivele principale ale cercetărilor în domeniul iluminatului, organizarea și dotarea centrelor de cercetări, introducerea în fabricație a rezultatelor cercetărilor.

Dl. E. Barthès a vorbit despre centrul de cercetări al firmei Mazda din Franța, dotat cu laboratoare în care se studiază noile tipuri de lămpi și balasturi, dispozitive de amorsare, gradatoare de lumină. Centrul posedă un atelier-pilot care aduce noile tipuri de lămpi pînă în faza industrială. O altă secție a centrului de cercetări Mazda se ocupă de utilizările luminii. În laboratoarele de fotometrie și spectro-fotometrie ale acestei secții se tinde către automatizarea completă a măsurătorilor. De exemplu, un aparat de iluminat se așază pe goniofotometru și se obțin înregistrate toate datele fotometrice și factorii de utilizare gata calculați, fără intervenția operatorului. În ceea ce privește partea vizuală, s-au făcut cercetări în paralel pe machete și pe clădiri reale, pentru a stabili în ce condiții este corect studiul pe machete. S-a reușit să se evalueze factorii psihologici și să se stabilească o metodă utilizabilă cu ajutorul calculatoarelor.

Dl. Joh Jansen a vorbit despre laboratoarele de cercetare în aer liber a instalațiilor de iluminat exterior și în special a celor pentru iluminatul căilor de circulație; cîte un asemenea laborator există în R. F. a Germaniei, în Belgia, la Liège, în Olanda, la Eindhoven, în S.U.A. și în Japonia. În domeniul iluminatului interior, în R. F. a Germaniei și în Olanda există laboratoare finanțate de stat. Laboratoare de cercetări ale surselor luminoase și de cercetări vizuale funcționează pe lîngă mari firme în R. F. a Germaniei, în Belgia și în Olanda.

Următoarea problemă supusă discuției a fost formarea de cadre superioare în domeniul iluminatului. În Franța, așa cum a informat dl. M. Déribéré, nu există facultăți universitare pentru ingineri în domeniul iluminatului. În politehnici și școli superioare de eletrotehnică se predă cîte un curs de iluminat, iar la unele universități se efectuează lucrări de diplomă inginerești în specialitatea iluminatului electric. Dl. E. Barthès a comunicat, de asemenea, că Asociația Franceză de Iluminat organizează cursuri de reciclare: a) pentru ingineri electrotehnicieni, b) pentru profesori universitari și de liceu și c) pentru arhitecți și studenți-arhitecți.

Dl. Joh Jansen a dat unele informații despre învățămîntul superior în domeniul iluminatului în R.F. a Germaniei și Olanda, unde există cîte o secție în specialitatea iluminatului la politehnicile din Karlsruhe și Berlin și la universitățile din Eindhoven și Utrecht. Un institut din Londra organizează cu succes cursuri prin corespondență, combinate cu lucrări practice, pentru pregătirea de specialiști în iluminat electric.

Dl. E. Barthès este de părere că pentru atragerea tinerilor către ramura iluminatului este necesar să se organizeze un învățămînt coordonat pentru tehnicile ambianței: iluminat, încălzire, condiționare a aerului, acustică.

Dr. ing. P. Militaru a arătat că tocmai pe această cale s-a mers în România, unde Facultatea de instalații din cadrul Institutului de construcții pregătește ingineri pentru iluminat, încălziri și ventilații. În multe țări se discută chiar necesitatea instruirii copiilor de școală elementară în scopul utilizării corecte a luminii, pentru a înlătura repercusiunile pe care le poate avea un iluminat defectuos asupra randamentului muncii și chiar asupra sănătății.

Dl. E. Barthès a adăugat că în Belgia mai întîi și apoi în Franța s-au ținut cursuri în școli elementare, pentru a se acționa asupra părinților, prin intermediul copiilor. În Franța, Electricité de France și Asociația Franceză de Iluminat încearcă să propage în școli ideile de bază ale iluminatului, ca și pe cele ale utilizării culorilor.

Ing. Papagheorghe și fizician Savopol au cerut specialiștilor să-și expună punctele de vedere asupra direcțiilor de dezvoltare a lămpilor electrice. Dl. E. Barthès a arătat că lămpile fluorescente au atins în prezent performanțele lor maxime. Lămpile cu descărcări cu ioduri sînt, dimpotrivă, la începutul dezvoltării și, deși s-au obținut eficacități luminoase ridicate și compoziții spectrale favorabile, există încă un cîmp larg de posibilități de perfecționare. Tehnologia de fabricație este foarte complicată, însă este pe măsura posibilităților industriei actuale. Pentru iluminatul interior, părerea d-lui E. Barthès este că aceste surse

vor prezenta creşterea cea mai rapidă de producţie. La iluminatul exterior, lămpile cu vapori de sodiu de înaltă presiune au, de asemenea, mari perspective de dezvoltare. Lămpile fluorescente tubulare vor continua să fie produse şi utilizate în viitor, însă arhitecţii consideră că există o saturaţie de surse liniare şi doresc o schimbare, ceea ce ar putea frîna într-o oarecare măsură dezvoltarea fabricaţiei tuburilor. Prin crearea lămpilor cu balon fluorescent, cu spectru corectat, folosind vanadat de ytriu, americanii au sperat răspîndirea lor în iluminatul interior. Ele nu se pot utiliza însă în toate cazurile, fiind necesară montarea lor la înălţimi relativ mari şi atenuarea prin balasturi a pîlpîirilor extremităţilor.

Dl. Joh Jansen a comunicat ultimele realizări din S.U.A. în domeniul lămpilor electrice. S-au experimentat cu succes lămpile cu vapori de sodiu de înaltă presiune pentru iluminatul interior. Tuburile fluorescente vor constitui soluţia normală pentru interior, după opinia d-lui Johan Jansen, fabricanţii trebuind însă să rezolve problema culorii şi a variaţiei culorii. În S.U.A. există totuşi o tendinţă de întoarcere la lămpile cu incandescenţă şi se folosesc foarte mult lămpile cu bulb reflectant, care dublează randamentul iluminatului. Bulbul reflectant s-a introdus şi la lămpile cu halogeni.

La o întrebare despre sursele de lumină bazate pe fenomenul de electroluminescenţă, dl. E. Barthès a explicat că s-a înregistrat un eşec, datorită unei bariere fizice de principiu, necunoscută la începutul cercetărilor. Într-adevăr, s-a constatat că eficacitatea variază în raport invers cu luminanţa. Pentru o sursă de luminanţă necesară în practică se ajungea la o valoare infimă a eficacităţii de 1 lm/W.

În chestiunea utilizării calculatoarelor pentru rezolvarea unor probleme de iluminat, dr. ing. P. Militaru a exprimat părerea că se poate merge pe două căi : a) elaborarea unor scheme logice şi programe foarte complexe, pentru ca, pornind de la anumite date, calculatorul să dea soluţia optimă, comparînd un mare număr de variante ; b) utilizarea unor programe mai simple, inginerul putînd interveni pe parcurs printr-un ,,dialog om-maşină'' pentru dirijarea calculatorului spre scopul dorit. Dl. E. Barthès a arătat că în Franţa s-a încercat rezolvarea completă a unor probleme pe calculatoare. De exemplu, pentru iluminatul unui stadion, pornind de la iluminarea necesară să se ajungă direct la numărul şi caracteristicile fotometrice ale proiectoarelor. O astfel de rezolvare este posibilă din punct de vedere teoretic, dar nu şi practic, căci se ajunge la programe enorme. Tendinţa în Franţa este utilizarea dialogului om-maşină, deci elaborarea unor programe în bloc, lăsînd inginerului posibilitatea de a introduce bariere noi în aceste programe. Inginerii intervin pe parcurs în calcule, fără să se pretindă calculatoarelor să efectueze toate operaţiile logice.

Răspunzînd la întrebarea ing. I. Palade, privind utilizarea soluţiilor îmbrăcăminţilor de culoare deschisă pentru drumuri şi diferenţierea drumurilor prin lumini de diferite culori, dl. Joh Jansen a arătat că suprafaţa drumurilor este percepută într-un fel noaptea şi altfel ziua. Noaptea este necesară o ghidare optică suplimentară, care s-a realizat cu succes în unele ţări vest-europene.

Dl. E. Barthès a comunicat că în Franţa se tinde ca autostrăzile să fie iluminate prin lămpi cu vapori de sodiu, iar drumurile locale prin lămpi cu balon fluorescent, obţinîndu-se astfel o diferenţiere de culoare fără să fi fost căutată. Realizarea unor îmbrăcăminţi cît mai deschise prin încorporarea de granule artificiale sau de praf de aluminiu este o soluţie foarte costisitoare şi a fost adoptată în cîteva cazuri numai la intrarea în tuneluri.

La solicitarea ing. C. Bianchi, specialiştii străini şi-au exprimat părerile asupra metodelor de calcul al calităţii iluminatului, ţinînd seama de distribuţia luminanţelor în cîmpul vizual.

Dl. E. Barthès a afirmat că metoda zonală IES—Anglia este foarte complicată şi că în Franţa s-a adoptat metoda simplificată Bodmann şi Soellner, care dă rezultate identice în 80% din cazuri. Aceste metode nu stabilesc însă decît luminanţa inconfortabilă şi nu dau nici o informaţie despre confortul general al ambianţei, determinat de echilibrul luminanţelor tuturor suprafeţelor. În recomandările oficiale franceze s-au prevăzut niveluri mai ridicate decît cele propuse de Bodmann şi Soellner, considerate ca insuficient de severe.

Dl. Joh Jansen a subliniat necesitatea de a se include în cataloagele fabricilor elementele necesare aplicării acestei metode de calcul pentru sursele şi aparatele de iluminat.

La rugămintea unor participanţi la simpozion de a se obţine informaţii suplimentare despre soluţia birourilor mari peisajate, d-nii E. Barthès şi M. Déribéré au opinat că astfel de birouri sînt potrivite pentru activităţi de rutină (dactilografie, mecanografie) şi dau rezultate îndoielnice pentru o activitate de concepţie. Dl. Joh Jansen a expus o părere într-o oarecare măsură diferită. În marile oraşe metrul pătrat de suprafaţă este foarte scump şi arhitecţii sînt obligaţi să realizeze clădiri înalte, cu laturi de 40—50 m, în care 80% din personal stă departe de ferestre. Amenajările peisajate ale interioarelor, condiţionarea aerului,

nivelurile ridicate de iluminare măresc confortul şi deci randamentul activităţii oamenilor. În completare, Dl. E. Barthès a spus că pentru suprafeţe limitate soluţia unor birouri foarte mici, ca nişte cutii, în care oamenii nu se pot mişca, nu este bună. Există o soluţie intermediară : fracţionarea spaţiilor prin paravane vitrate şi crearea unor zone de exterior artificial în raport cu interiorul.

Ing. Gheorghe Chiriţă a solicitat informaţii despre elaborarea reglementărilor tehnice în domeniul iluminatului. Dl. M. Déribéré a comunicat că în Franţa normele în domeniul iluminatului sînt propuse de fabricanţii de lămpi şi aparate de iluminat şi supuse unei anchete la care iau parte marile întreprinderi beneficiare şi comisiile de specialitate UTE (Uniunea Tehnică de Electricitate). Pe plan internaţional, în mod asemănător, normele sînt pregătite de fabricanţi şi prezentate comisiilor de utilizatori. Dl. Joh Jansen a arătat că într-o serie de ţări din Europa (Olanda, R.F. a Germaniei şi Belgia), asociaţiile de ingineri elaborează recomandări, ministerele participînd prin reprezentanţi. Unele reglementări pot deveni legi, însă în acest caz ele nu prevăd decît condiţiile minime, obligatorii.

La o întrebare a ing. Eugenia Sufrim, d-nii E. Barthès şi M. Déribéré au prezentat cîteva informaţii despre aplicarea soluţiei halelor blindate în lume. În Franţa şi în S.U.A. aceste construcţii sînt încă puţin răspîndite. Un studiu tehnico-economic elaborat în Franţa a arătat că, luînd în considerare costul instalaţiilor de iluminat şi al instalaţiei de încălzit, soluţia halelor cu ferestre, deci cu iluminat natural, este mai ieftină. În orice caz, în centrul acestor clădiri se lucrează permanent cu lumină artificială. Pentru unele clădiri cu structuri speciale din S.U.A., s-au studiat soluţiile cu şi fără ferestre şi s-au luat în considerare izolaţia termică şi necesităţile de energie, stabilindu-se condiţiile în care este mai avantajoasă una sau cealaltă dintre soluţii.

În încheiere, dr. ing. P. Militaru a mulţumit participanţilor la masa rotundă şi în special celor trei invitaţi de peste hotare, d-nii E. Barthès, M. Déribéré şi J. Jansen, pentru contribuţia avută şi pentru informaţiile foarte valoroase comunicate în cadrul discuţiilor, care vor fi extrem de utile pentru dezvoltarea cercetării ştiinţifice româneşti în domeniul iluminatului.

**Dr. ing. P. Militaru**

# Metodă grafică pentru proiectarea instalațiilor de iluminat industrial

Ing. E. Sufrim*)

Principalele metode de calcul al nivelului de iluminare folosite în prezent în țara noastră sînt metoda „punct cu punct'' și metoda coeficientului de utilizare Philips. Ambele metode prezintă dezavantajul că nu cuprind toate elementele care influențează nivelul de iluminare și valorile rezultate din calcul diferă de valorile reale. În cadrul metodei „punct cu punct'' nu se iau în considerație coeficienții de reflexie ai suprafețelor încăperii, iar în cadrul metodei Philips, coeficientul de reflexie al planului de lucru și densitatea de amplasare a corpurilor de iluminat.

Diferența dintre nivelul de iluminare calculat și nivelul de iluminare realizat poate lua valori importante și variază în funcție de forma curbei de distribuție a intensităților luminoase ale corpului de iluminat, de valorile coeficienților de reflexie ai principalelor suprafețe din încăpere, de densitatea de amplasare a corpurilor de iluminat și de dimensiunile încăperii.

Dacă nu se iau în considerație în calcul coeficienții de reflexie ai principalelor suprafețe dintr-o încăpere în care $\rho_{plafon} = 0{,}8$, $\rho_{pereti} = 0{,}7$ și $\rho_{pardoseală} = 0{,}3$, nivelul de iluminare calculat este cu 30% mai mic decît nivelul de iluminare realizat în cazul unui corp de iluminat cu distribuție concentrată a fluxului luminos ($F_{0°-40°} = 0{,}65\, F_{0°-180°}$), cu 47% mai mic în cazul unui corp de iluminat cu distribuție largă ($F_{0°-40°} = 0{,}35\, F_{0°-180°}$) și cu 68% mai mic în cazul unui corp de iluminat cu distribuție uniformă.

Concentrarea fluxului luminos al unei instalații de iluminat într-un număr mic de unități, densitatea de amplasare a acestora fiind de exemplu de 0,01 corpuri de iluminat/m², pentru aceleași curbe de distribuție a intensităților luminoase și aceleași valori ale coeficienților de reflexie ca mai sus, face ca nivelul de iluminare pe planul de lucru realizat în încăperi de întindere medie (indicele încăperii $K = 1{,}25$) să fie cu respectiv 10, 6 și 4% mai mare decît nivelul de iluminare realizat în cazul unei densități mari, de 0,25 corpuri de iluminat/m². Repartizarea fluxului luminos pe un număr mic de corpuri de iluminat, uniform distribuite pe întreaga suprafață a încăperii (distanța dintre corpurile de iluminat și pereți egală cu jumătate din distanța dintre două corpuri de iluminat învecinate), are drept rezultat creșterea componentei directe a iluminării pe planul de lucru. Dacă suprafața încăperii crește mult, astfel încît indicele încăperii ia valori maxime, $K \geqslant 5$, diferențele menționate mai sus se reduc la respectiv 2,6, 1,5 și 1,1%, densitatea de amplasare fiind de mai mică importanță în aceste cazuri.

Neconsiderarea coeficientului de reflexie al pardoselii sau al planului de lucru are drept rezultat obținerea unor niveluri de iluminare calculate mai mici cu 13—10% decît cele realizate în cazul corpurilor de iluminat cu distribuție concentrată și cu 14—20% mai mici în cazul corpurilor de iluminat cu distribuție uniformă, indicele încăperii avînd o variație de 1—5.

Datorită impreciziei metodelor de calcul folosite în prezent în țară se impune înlocuirea acestora cu metode mai noi.

În ultimii ani în străinătate s-au elaborat cîteva metode care asigură o bună concordanță între nivelul de iluminare calculat și nivelul de iluminare realizat: metoda americană „zonal cavity method'', metoda engleză „british zonal method'' și metoda franceză prezentată în norma S40 001. Toate se bazează pe principiul că fluxul luminos $F_u$ pe planul de lucru este egal cu $f_u$, partea din fluxul luminos dat de corpurile de iluminat ce ajunge direct pe planul de lucru, la care se adaugă fluxul luminos $f_i$, ajuns pe planul de lucru după un număr infinit de reflexii pe suprafețele încăperii:

$$F_u = f_u + f_i.$$

La calculul componentei indirecte $f_i$ se folosește teorema reciprocității fluxului luminos.

În ipotezele adoptate la elaborarea metodelor se consideră că:

— încăperea este de formă paralelipipedică, pereții au același coeficient de reflexie, iar corpurile de iluminat se reduc la o sursă punctuală;

— pereții reflectă fluxul luminos primit după legea lui Lambert;

— plafonul și pereții sînt iluminați în mod uniform, deci au o luminanță constantă;

— corpurile de iluminat au distribuție simetrică a fluxului luminos și sînt uniform distribuite pe întreaga suprafață a încăperii.

Cu ajutorul acestor metode se calculează nivelul de iluminare mediu pe planul de lucru dat de o instalație de iluminat cunoscută. Nici una dintre metode nu oferă posibilitatea de a se calcula direct numărul corpurilor de iluminat necesar realizării unui anumit nivel de iluminare. Numărul corpurilor de iluminat se calculează prin tatonare, propunînd o serie de instalații de iluminat și comparînd nivelurile de iluminare calculate pentru aceste instalații cu nivelul de iluminare ce trebuie realizat. Datorită volumului de calcul mare ce trebuie efectuat la aplicarea lor, nici una dintre metodele moderne nu se folosește în mod curent în institutele de proiectare din țara noastră.

*) Eugenia Sufrim este șeful Laboratorului de electrosecuritate și iluminat industrial din Institutul de cercetări științifice pentru protecția muncii.

Plecînd de la același principiu și ipoteze, Institutul de cercetări științifice pentru protecția muncii a elaborat o metodă de calcul în care, pe lîngă precizie, s-a urmărit și comoditatea în aplicare. Metoda necesită un volum mic de lucru și permite să se calculeze direct fie nivelul de iluminare, dacă instalația de iluminat este cunoscută, fie numărul corpurilor de iluminat necesar realizării unui anumit nivel de iluminare. Datele metodei se prezintă în 16 seturi de diagrame și în 16 tabele elaborate pentru majoritatea corpurilor de iluminat fabricate în prezent în țară. Fiecărui corp de iluminat îi corespunde un set de șase diagrame și un tabel. În figura 1 și tabelul 1 se indică, pentru exemplificare, datele metodei pentru corpul de iluminat CIA 240. Diagramele sînt trasate pentru șase valori ale densității de amplasare a corpurilor de iluminat. Pentru alte valori intermediare sau mai mari, nivelul de iluminare obținut cu ajutorul diagramei se înmulțește cu raportul dintre densitatea reală și densitatea diagramei considerată pentru calcul. Diagramele dau posibilitatea să se urmărească și variația nivelului de iluminare pe planul de lucru în funcție de indicele încăperii.

Coeficienții de reflexie considerați la întocmirea diagramelor sînt: $\rho_{plafon} = 0{,}8$, $\rho_{pereți} = 0{,}7$ și $\rho_{pardoseală} = 0{,}3$. Pentru cazurile în care coeficienții de reflexie au alte valori, nivelul de iluminare obținut cu ajutorul diagramelor se înmulțește cu multiplicatorul corespunzător din tabele.

La aplicarea metodei se efectuează cîteva calcule simple. Pentru a obține nivelul de iluminare mediu pe planul de lucru dat de o instalație de iluminat, se calculează densitatea de amplasare a corpurilor de iluminat $n = \frac{N}{S}$, în care $N$ este numărul corpurilor de iluminat existent în instalație și $S$ suprafața încăperii, se determină cu ajutorul diagramei corespunzătoare lui $n$ nivelul de iluminare $e$ pe planul de lucru pentru fluxul luminos de 1 000 lm al corpului de iluminat și pentru indicele încăperii, calculat cu relația $K = \frac{ab}{h_u(a+b)}$, în care $a$, $b$, $h_u$ sînt lungimea, lățimea și înălțimea de montaj a instalației de iluminat deasupra planului de lucru, și se introduce valoarea obținută în relația:

$$E = \frac{e \cdot m \cdot c}{d},$$

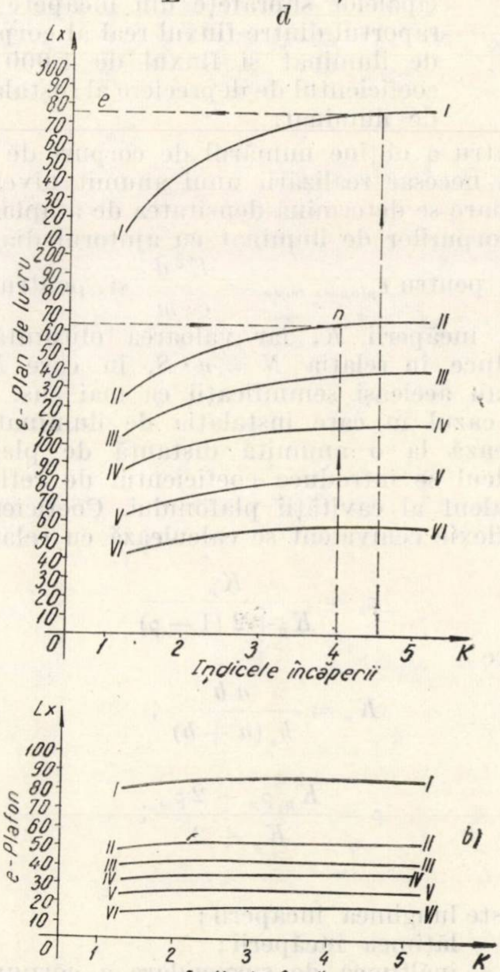



Fig. 1. Corp de iluminat CIA 240; $F = 1\,000$ lm; $n$ corpuri de iluminat/m²:
I – 0,23; II – 0,14; III – 0,11; IV – 0,09; V – 0,07; VI – 0,05.

*Tabelul 1*

**Valorile factorului *m* pentru corpul de iluminat CIA 240**

| Coeficienții de reflexie ρ | | | Indicele încăperii K | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1,25 | | 1,50 | | 1,75 | | 2,50 | | 3,00 | | 4,00 | | 5,00 | |
| plafon | pereți | pardoseală | plan de lucru | plafon | plan de lucru | plafon | plan de lucru | plafon | plan de lucru | plafon | plan de lucru | plafon | plan de lucru | plafon | plan de lucru | plafon |
| 0,8 | 0,7 | 0,3 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 0,7 | 0,7 | 0,3 | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 |
| 0,7 | 0,5 | 0,3 | 0,84 | 0,67 | 0,86 | 0,71 | 0,87 | 0,73 | 0,89 | 0,79 | 0,90 | 0,81 | 0,92 | 0,84 | 0,92 | 0,86 |
| 0,5 | 0,5 | 0,1 | 0,76 | 0,38 | 0,76 | 0,36 | 0,77 | 0,35 | 0,78 | 0,33 | 0,79 | 0,32 | 0,79 | 0,31 | 0,79 | 0,31 |
| 0,3 | 0,3 | 0,1 | 0,68 | 0,23 | 0,70 | 0,24 | 0,72 | 0,24 | 0,73 | 0,24 | 0,75 | 0,24 | 0,76 | 0,25 | 0,76 | 0,25 |

în care

$e$ este nivelul de iluminare determinat cu ajutorul diagramei pentru fluxul luminos al corpului de iluminat de 1 000 lm ;

$m$ — coeficientul de multiplicare corespunzător coeficienților de reflexie ai principalelor suprafețe din încăpere ;

$c$ — raportul dintre fluxul real al corpului de iluminat și fluxul de 1 000 lm ;

$d$ — coeficientul de depreciere al instalației de iluminat.

Pentru a obține numărul de corpuri de iluminat necesar realizării unui anumit nivel de iluminare se determină densitatea de amplasare $n$ a corpurilor de iluminat cu ajutorul diagramelor pentru $e_{plan\ de\ lucru} = \frac{E \cdot d}{c \cdot m}$ și pentru indicele încăperii $K$, iar valoarea obținută se introduce în relația $N = n \cdot S$, în care $N$, $n$ și $S$ au aceleași semnificații ca mai sus.

În cazul în care instalația de iluminat se montează la o anumită distanță de plafon, în calcul se introduce coeficientul de reflexie echivalent al cavității plafonului. Coeficientul de reflexie echivalent se calculează cu relația :

$$\rho_e = \frac{K_p}{K_p + 2\,(1 - \rho)}$$

în care

$$K_p = \frac{a\,b}{h_s\,(a + b)};$$

$$\rho = \frac{K_p\,\rho_p + 2\,\rho_m}{K_p + 2};$$

unde

$a$ este lungimea încăperii ;

$b$ — lățimea încăperii ;

$h_s$ — înălțimea de suspendare a corpurilor de iluminat față de plafon ;

$\rho_p$ — coeficientul de reflexie al plafonului ;

$\rho_m$ — coeficientul de reflexie al pereților deasupra planului corpului de iluminat

$K_p$ — indicele cavității plafonului.

Modul de prezentare a datelor metodei permite să se facă o apreciere rapidă a variației nivelului de iluminare în funcție de dimensiunile încăperii, coeficienții de reflexie și distribuția luminoasă a corpului de iluminat, ceea ce constituie un avantaj în stabilirea soluțiilor de iluminat în proiectare.

Metoda este suficient de precisă pentru cerințele proiectării, întrucît la aplicarea ei se iau în considerație caracteristicile reale ale încăperii, ale corpului de iluminat și ale amplasării instalației de iluminat.

Datele metodei dau posibilitatea să se facă și o apreciere calitativă a instalației de iluminat. Cu ajutorul curbelor din figura 1 *b* se poate calcula nivelul de iluminare a plafonului, deci și luminanța acestuia, care intervine în calculul indicelui de orbire al instalației de iluminat.

**Exemple de calcul**

*Exemplul 1.* Se urmărește calculul nivelului de iluminare dat de o instalație de iluminat realizată cu corpuri de iluminat CIA 240, montate la nivelul plafonului.

Numărul corpurilor de iluminat este $N = 35$.

Dimensiunile încăperii sînt :

$$a = 10\ \text{m};\ b = 15\ \text{m};\ h = 4\ \text{m};\ h_{util} = 3\ \text{m}.$$

Coeficienții de reflexie ai principalelor suprafețe din încăpere sînt : $\rho_{plafon} = 0{,}7$, $\rho_{pereți} = 0{,}5$, $\rho_{pardoseală} = 0{,}3$, iar coeficientul de depreciere al instalației de iluminat este $d = 1{,}7$.

Indicele încăperii $K = \frac{a \cdot b}{h_u\,(a + b)} = \frac{10 \times 15}{3\,(10 + 15)} = 2.$

Numărul corpurilor de iluminat pe unitatea de suprafață este $n = \frac{N}{S} = \frac{35}{150} = 0{,}23$ corpuri/m². Deci se va folosi diagrama *I* din figura 1 *a*. Pentru $K = 2$ se obține din diagramă $e = 246$ lx, iar din tabelul 1, $m = 0{,}88$. Introducînd datele de mai sus în relația :

$$E = \frac{e\,\frac{F_s}{\eta} \cdot \frac{1}{1\,000} \cdot m}{d} = \frac{e \cdot K_c \cdot m}{d} = \frac{246 \cdot 4{,}1 \cdot 0{,}88}{1{,}7} = 522\ \text{lx}.$$

*Exemplul 2.* Aceeași încăpere ca și în cazul precedent, însă instalația de iluminat, montată la nivelul plafonului, are un număr mai mare de corpuri de iluminat, și anume $N = 45$ CIA 240. În acest caz numărul corpurilor de iluminat ce revin pe unitatea de suprafață este :

$$n = \frac{N}{S} = \frac{45}{150} = 0{,}3.$$

Diagrama care se consideră în calcul reprezintă o instalație de iluminat cît mai apropiată de instalația pentru care urmează să se efectueze calculul, în cazul de față diagrama *I* din figura 1 *a*, trasată pentru 0,23 corpuri/m². Din diagramă pentru $K = 2$, $e = 246$ lx, iar din tabel $m = 0{,}88$. Întrucît $n$ este mai mare de 0,23, nivelul de iluminare pe planul de lucru va fi :

$$e = 246 \cdot \frac{0{,}3}{0{,}23} = 246 \cdot 1{,}3 = 319{,}8\ \text{lx}.$$

Introducînd în relația iluminării datele de mai sus, se obține :

$$E = \frac{319{,}8 \cdot 4{,}1 \cdot 0{,}88}{1{,}7} = 679\ \text{lx}.$$

*Exemplul 3.* Să se determine numărul de corpuri necesar realizării unui nivel de iluminare de 300 lx pe planul de lucru într-o încăpere cu aceleași dimensiuni și coeficienți de reflexie ca și în cazurile precedente. Instalația de iluminat se montează la nivelul plafonului. Tipul corpului de iluminat propus este CIA 240. Indicele încăperii este $K = 2$.

Pentru a obține diagrama care se va folosi în calcul se determină $e$ corespunzător lui $E = 300$ lx cu relația :

$$e = \frac{E \cdot d}{\frac{F_s}{\eta} \cdot \frac{1}{1\,000} \cdot m} = \frac{E \cdot d}{K_c \cdot m} = \frac{300 \times 1{,}7}{4{,}1 \cdot 0{,}88} = 141\ \text{lx}.$$

Urmărind în planul axelor de coordonate din figura 1 *a* poziţia punctului *f* (141, 2) se observă că acesta este în apropierea diagramei *II*, trasată pentru 0,14 corpuri/m². Nivelul de iluminare $e_p$ corespunzător diagramei *II*, pentru $K = 2$, este de 144 lx.

Numărul de corpuri de iluminat necesar realizării nivelului de iluminare de 300 lx va fi:

$$N = n_{II}\frac{e}{e_p}S = 0{,}14\cdot\frac{141}{144}\cdot 150 = 20 \text{ de corpuri de iluminat.}$$


**Bibliografie**

[1] D o u r g n o n, J. *Nouvelle méthode de prédétermination des coefficients d'utilisation dans les projets d'éclairage d'espaces clos.* În: R.G.E., februarie 1928.

[2] * * * *Zonal-Cavity Method of Calculating and Using Coefficients of Utilisation.* În: I.E.S., I 11. Engng., mai 1964.

[3] B u r r u s, J. *Utilisation pratique de la norme S40—001 en vue de projets d'éclairage et comparaison avec les méthodes étrangeres.* În: Lux, nr. 53, iunie 1969.


(Articol intrat în redacţie la 25 august 1972)

# Metodă rapidă de calcul al iluminatului interior direct cu lămpi fluorescente

Ing. I. B. Paşa *)

La calculul iluminatului direct cu lămpi fluorescente intervin şi funcţii trigonometrice, ceea ce face ca metoda să fie greoaie. În plus calculul nu este suficient de exact (în cazul corpurilor de iluminat cu grătar), deoarece utilizează o distribuţie Lambert a intensităţilor luminoase. În cazul corpurilor scurte apar în calcule diferenţe de numere apropiate, ceea ce de asemenea dă erori de calcul.

Practica a necesitat elaborarea unei metode noi de calcul, care prezintă următoarele avantaje: este rapidă şi fără calcule trigonometrice, pleacă de la curba fotometrică reală, dă rezultate teoretic exacte şi la corpurile care nu formează un şir continuu. Metoda de calcul a fost utilizată de la elaborare şi pînă azi timp de 6 ani, dînd rezultate satisfăcătoare.

La calculul iluminatului fluorescent prin metoda „punct cu punct" se utilizează formula următoare:

$$E = \frac{I_\varepsilon\cdot h}{l_L(a^2+h^2)}\left(\frac{\alpha_2}{2}+\frac{\sin 2\alpha_2}{4}-\frac{\alpha_1}{2}-\frac{\sin 2\alpha_1}{4}\right) \quad (1)$$

Această formulă rezultă din descompunerea lămpii în surse elementare de lungime infinit mică şi integrarea lor pe lungimea lămpii sau a şirului întreg de lămpi.

Iluminarea dată de o astfel de sursă elementară de lungime d$l$ este:

$$\mathrm{d}E = \frac{(i_{\alpha\varepsilon}\,\mathrm{d}l)\cos\widehat{\alpha\varepsilon}}{r^2},$$

în care $i_{\alpha\varepsilon}\cdot \mathrm{d}l$ este intensitatea luminoasă în direcţia punctului *P* pentru care se calculează iluminarea. Distanţa lampă-punct este *r*. Unghiul $\widehat{\alpha\varepsilon}$ este unghiul direcţiei *r* faţă de planul de calcul. Acest unghi are o notaţie dublă, deoarece corpurile fluorescente au repartiţie nesimetrică a intensităţii lor luminoase (fig. 1), $I_\alpha$ în plan axial şi $I_\varepsilon$ în plan transversal.

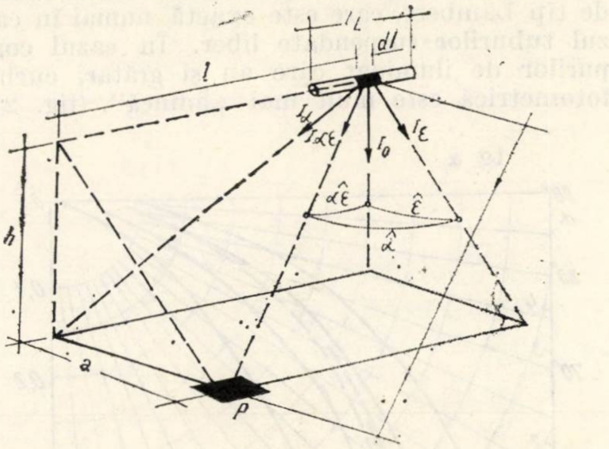


Fig. 1

Rezultă:

$$i_{\alpha\varepsilon} = \frac{I_{\alpha\varepsilon}}{l_L} = I_\varepsilon\frac{I_\alpha}{I_0}\cdot\frac{1}{l_L} \quad (2)$$

în care s-a notat cu $l_L$ lungimea lămpii.

Pentru $I_\alpha$ se adoptă distribuţia Lambert, adică $I_\alpha = I_0\cos\alpha$ şi se obţine:

$$i_{\alpha\varepsilon} = \frac{I_\varepsilon\cos\alpha}{l_L} \quad (3)$$

Din consideraţii geometrice rezultă

$$\cos\widehat{\alpha\varepsilon} = \frac{h}{\sqrt{a^2+h^2}}\cos\alpha;\ r = \frac{\sqrt{a^2+h^2}}{\cos\alpha};$$

$$\mathrm{d}l = \sqrt{a^2+h^2}\cdot\mathrm{d}(\mathrm{tg}\,\alpha).$$

În final se ajunge la integrala:

$$E = \frac{I_\varepsilon h}{l_L(a^2+h^2)}\int_{\alpha_1}^{\alpha_2}\cos^2\alpha\,\mathrm{d}\alpha \quad (4)$$

*) Ioan Bogdan este şef de atelier la Institutul „Proiect" — Bucureşti.

Această integrală conduce tocmai la formula (1), care reprezintă „metoda clasică". Metoda clasică prezintă însă trei dezavantaje:

1) Presupune un calcul greoi din cauza expresiilor trigonometrice pe care le conține.

2) Pentru șiruri de lungime mică sau pentru lămpi individuale diferențele din formula (1), adică:

$$\frac{\alpha_2}{2}-\frac{\alpha_1}{2} \text{ și } \frac{\sin 2\,\alpha_2}{4}-\frac{\sin 2\,\alpha_1}{4},$$

duc la scăderi între numere aproape egale, care reduc mult precizia de calcul. Sondări detaliate ale acestor erori arată că pentru punctele îndepărtate, cele mai interesante într-un calcul obișnuit, se obțin în mod uzual erori de ordinul 40%.

3) În calcul se poate lua pentru $I_\varepsilon$ direct valoarea din curba fotometrică. Dar $I_\alpha$ trebuie pus sub o dependență de unghiul $\alpha$, deoarece variază în cursul integrării.

Metoda clasică a adoptat curba fotometrică de tip Lambert, care este exactă numai în cazul tuburilor suspendate liber. În cazul corpurilor de iluminat care au și grătar, curba fotometrică este mult mai „adîncă" (fig. 2),

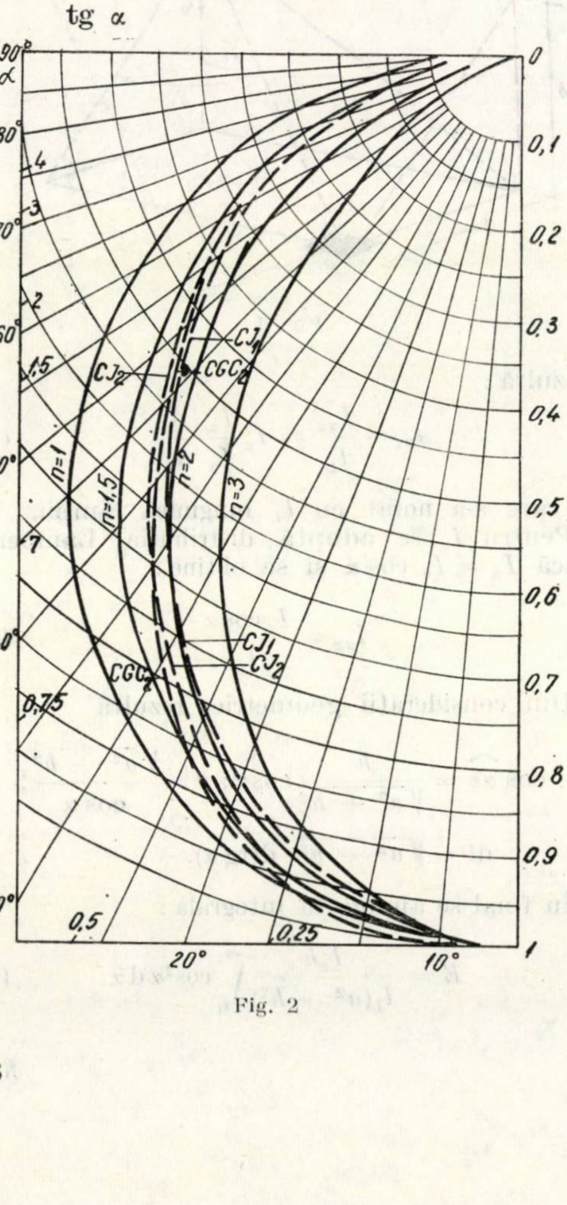



Fig. 2

avînd valori care satisfac o variație cu $\cos\alpha$ ridicat la o putere cu valori între:

$$I_\alpha = I_0 \cos^{1,5}\alpha \text{ și } I_\alpha = I_0 \cos^2\alpha \quad (5\text{ a, b})$$

Și această situație dă mari erori de calcul în cazul metodei clasice pentru punctele de iluminare minimă. În figura 2 s-au trasat curbele $\cos\alpha$, $\cos^{1,5}\alpha$ și $\cos^2\alpha$ și s-au suprapus curbele fotometrice ale corpurilor de iluminat. Se vede că, spre exemplu, corpurile *GGC* și *CI* cu grătar dau sub unghiul $\alpha = 40°$ o intensitate luminoasă cu circa 20% mai mică decît ar rezulta din distribuția Lambert. Din considerentele arătate, în cazurile curente din practică se ajunge în zonele de iluminare minimă ale încăperii de studiat la erori totale de calcul de ordinul 30—60%.

Dar valoarea iluminării minime trebuie cunoscută cît mai exact. Acesta este unul din motivele pentru care calculul „punct cu punct" este necesar în special acolo unde în mod voluntar sau involuntar iluminarea este neuniformă. Cazuri de iluminare voit neuniformă sînt multe. Un exemplu îl constituie iluminatul diferențiat: într-o încăpere mare se preferă iluminarea mai intensă a zonelor active (mese de lucru, ghișee etc.) decît a zonelor neactive (zone de așteptare, de circulație, de depozitare etc.).

Un exemplu de iluminare neomogenă nedorită îl constituie o hală foarte mare, în care așezînd uniform corpurile de iluminat în cîmp se obține un iluminat uniform în cea mai mare parte a halei, dar o iluminare mai redusă în zonele de margine. În aceste zone iluminatul trebuie întărit pentru a nu scădea sub nivelul minim necesar.

Se vede imediat că ceea ce interesează în ambele exemple este zona iluminărilor minime, adică zona în care metoda clasică nu dă rezultate bune. Aici erorile sînt de evitat, mai ales că nici curbele fotometrice nu sînt foarte precise.

Punctul de plecare pentru metoda propusă a fost calcularea foarte exactă a expresiei trigonometrice din formula (1).

S-au determinat la calculator electronic valori cu șase cifre exacte pentru expresia:

$$F = \frac{\alpha}{2} + \frac{\sin 2\alpha}{4} \quad (6)$$

funcție de parametrul cel mai comod pentru practica de calcul:

$$x = \operatorname{tg}\alpha = \frac{l}{\sqrt{a^2 + h^2}}. \quad (7)$$

A apărut astfel primul șir de cifre din tabelul 1, adică coloana denumită $n = 1$. Prin aceasta s-au rezolvat primele două dificultăți — amintite — ale metodei clasice. După aceea s-au adăugat și cele două coloane următoare

*Tabelul 1*

**Valorile funcției $F$ pentru un șir continuu de corpuri de iluminat fluorescent**

| $x$ | $n=1$ | | $n=1,5$ | | $n=2$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,00 | 0,0000 | 200 | 0,0000 | 200 | 0,0000 | 200 |
| 0,02 | 0,0200 | 200 | 0,0200 | 199 | 0,0200 | 199 |
| 0,04 | 0,0399 | 200 | 0,0399 | 199 | 0,0399 | 199 |
| 0,06 | 0,0598 | 198 | 0,0598 | 198 | 0,0598 | 198 |
| 0,08 | 0,0797 | 197 | 0,0796 | 197 | 0,0796 | 196 |
| 0,10 | 0,0993 | 485 | 0,0993 | 482 | 0,0992 | 480 |
| 0,15 | 0,1478 | 470 | 0,1475 | 467 | 0,1472 | 464 |
| 0,20 | 0,1948 | 453 | 0,1942 | 447 | 0,1936 | 442 |
| 0,25 | 0,2401 | 432 | 0,2389 | 424 | 0,2378 | 416 |
| 0,30 | 0,2833 | 409 | 0,2814 | 399 | 0,2794 | 389 |
| 0,35 | 0,3242 | 384 | 0,3213 | 372 | 0,3183 | 360 |
| 0,40 | 0,3627 | 358 | 0,3585 | 344 | 0,3543 | 330 |
| 0,45 | 0,3985 | 333 | 0,3929 | 377 | 0,3873 | 301 |
| 0,50 | 0,4318 | 590 | 0,4246 | 553 | 0,4174 | 517 |
| 0,6 | 0,4908 | 496 | 0,4799 | 455 | 0,4691 | 415 |
| 0,7 | 0,5402 | 411 | 0,5254 | 369 | 0,5106 | 328 |
| 0,8 | 0,5813 | 337 | 0,5623 | 298 | 0,5434 | 258 |
| 0,9 | 0,6150 | 277 | 0,5921 | 238 | 0,5692 | 200 |
| 1,0 | 0,6427 | 226 | 0,6159 | 192 | 0,5892 | 157 |
| 1,1 | 0,6653 | 186 | 0,6351 | 154 | 0,6049 | 122 |
| 1,2 | 0,6839 | 153 | 0,6505 | 124 | 0,6171 | 95 |
| 1,3 | 0,6992 | 125 | 0,6629 | 100 | 0,6266 | 75 |
| 1,4 | 0,7117 | 105 | 0,6729 | 82 | 0,6341 | 59 |
| 1,5 | 0,7222 | 86 | 0,6811 | 66 | 0,6400 | 47 |
| 1,6 | 0,7308 | 72 | 0,6877 | 55 | 0,6447 | 38 |
| 1,7 | 0,7380 | 61 | 0,6932 | 46 | 0,6485 | 30 |
| 1,8 | 0,7441 | 51 | 0,6978 | 38 | 0,6515 | 24 |
| 1,9 | 0,7492 | 44 | 0,7016 | 31 | 0,6539 | 20 |
| 2,0 | 0,7536 | 37 | 0,7047 | 27 | 0,6559 | 16 |
| 2,1 | 0,7573 | 31 | 0,7074 | 22 | 0,6575 | 14 |
| 2,2 | 0,7604 | 28 | 0,7096 | 19 | 0,6589 | 10 |
| 2,3 | 0,7632 | 23 | 0,7115 | 17 | 0,6599 | 10 |
| 2,4 | 0,7655 | 20 | 0,7132 | 16 | 0,6609 | 8 |
| 2,5 | 0,7675 | 18 | 0,7146 | 12 | 0,6617 | 6 |
| 2,6 | 0,7693 | 16 | 0,7158 | 11 | 0,6623 | 6 |
| 2,7 | 0,7709 | 13 | 0,7169 | 9 | 0,6629 | 4 |
| 2,8 | 0,7722 | 13 | 0,7178 | 8 | 0,6633 | 4 |
| 2,9 | 0,7735 | 10 | 0,7186 | 7 | 0,6637 | 3 |
| 3,0 | 0,7745 | 9 | 0,7193 | 6 | 0,6641 | 3 |
| 3,1 | 0,7754 | 9 | 0,7199 | 5 | 0,6644 | 2 |
| 3,2 | 0,7763 | 7 | 0,7204 | 5 | 0,6646 | 2 |
| 3,3 | 0,7770 | 7 | 0,7209 | 5 | 0,6648 | 2 |
| 3,4 | 0,7777 | 6 | 0,7214 | 3 | 0,6650 | 2 |
| 3,5 | 0,7783 | 5 | 0,7217 | 4 | 0,6652 | 1 |
| 3,6 | 0,7788 | 5 | 0,7221 | 3 | 0,6653 | 2 |
| 3,7 | 0,7793 | 5 | 0,7224 | 3 | 0,6655 | 1 |
| 3,8 | 0,7798 | 4 | 0,7227 | 2 | 0,6656 | 1 |
| 3,9 | 0,7802 | 3 | 0,7229 | 3 | 0,6657 | 1 |
| 4,0 | 0,7805 | 49 | 0,7232 | 34 | 0,6658 | 18 |
| ∞ | 0,7854 | | 0,7266 | | 0,6666 | |

pentru $n = 1{,}5$ şi $n = 2$. Coloana $n = 1{,}5$ reprezintă repartiţia (5 a) şi conduce la o integrală de forma:

$$F_{(n=1,5)} = \int \cos^{2,5}\alpha \, d\alpha =$$

$$= \frac{1}{2}\left(\frac{\alpha}{2} + \frac{\sin^2\alpha}{4} + \frac{\sin\alpha\cos^2\alpha}{3} + \frac{2\sin\alpha}{3}\right). \quad (8)$$

Integrarea s-a făcut printr-un artificiu, înlocuind funcţia cu exponentul fracţionar de sub integrală printr-o altă funcţie care dă valori numerice foarte apropiate:

$$\cos^{2,5}\alpha \simeq \frac{1}{2}(\cos^2\alpha + \cos^3\alpha). \quad (9)$$

În figura 3 s-au indicat grafic cele două funcţii de distribuţie a intensităţilor.

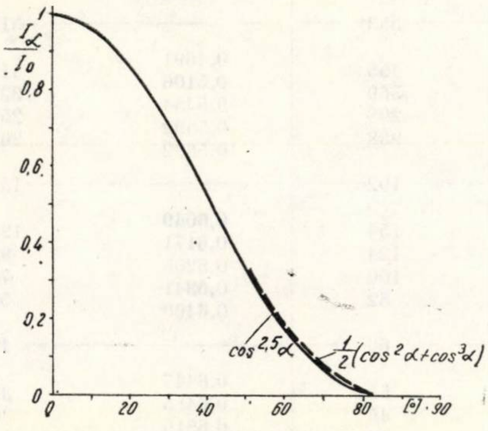



Fig. 3

Coloana $n = 2$ reprezintă repartiţia (5 b) şi duce la integrala:

$$\int \cos^3\alpha \cdot d\alpha = \frac{1}{3}(\sin\alpha)(2 + \cos^2\alpha) = F_{(n=2)}. \quad (10)$$

Tabelul 1 conţine aşadar pentru fiecare parametru $x$ valorile funcţiei $F$ pentru $n = 1$ şi $n = 2$. Pentru $n = 1{,}5$ s-a simplificat calculul funcţiei $F$. Într-adevăr, prin înlocuirea (9) rezultă:

$$F_{(n=1,5)} = \frac{1}{2}[F_{(n=1)} + F_{(n=2)}].$$

Prin adoptarea a trei valori pentru exponentul $n$, s-a rezolvat şi cea de-a treia dificultate a metodei clasice. Formula de calcul obţinută acum este:

$$E = \frac{I_\varepsilon h}{l_L(a^2 + h^2)}[F_2 - F_1]. \quad (11)$$

În cazul în care lungimea de calcul este de numai un corp de iluminat, formula (11) nu mai dă suficientă satisfacţie. Este mai comodă o altă rezolvare prin care este necesară căutarea unei singure valori pentru $F$ în loc de două. Se porneşte de la parametrul intermediar $dl$, parametru scris în funcţie de variabila $x$. Scriind integrala (4) funcţie de $x$, se obţine:

$$E = \frac{I_\varepsilon h}{l_L(a^2 + h^2)} \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{(1 + x^2)^{\frac{3+n}{2}}}. \quad (12)$$

Intervalul $x_1 - x_2$ fiind mic, integrarea se poate rezolva prin teorema ordonatei medii:

$$\int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{(1 + x^2)^{\frac{3+n}{2}}} = \frac{x_2 - x_1}{(1 + x_\xi^2)^{\frac{3+n}{2}}}.$$

Abscisa ordonatei medii $x_\xi$ este cuprinsă între valorile $x_1$ şi $x_2$.

Practic, raportarea nu se poate face la $x_\xi$, a cărui valoare nu se cunoaşte, ci la valoarea medie $x_m = \frac{x_1 + x_2}{2}$, valoare care de fapt reprezintă punctul de atîrnare a corpului de iluminat şi este puţin diferită de $x_\xi$.

În acest caz apare însă ca necesară o corecţie şi integrala devine:

$$\int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{(1 + x^2)^{\frac{3+n}{2}}} = \frac{x_2 - x_1}{(1 + x_m^2)^{\frac{3+n}{2}}} \cdot C_1 \quad (13)$$

Corecţia $C_1$ se poate calcula cu ajutorul tabelului 1, care dă rezultatul exact al integrării.

Pentru a face metoda absolut exactă s-a adăugat şi o corecţie de curbă fotometrică $C_2$, care ţine seama de abaterea repartiţiei reale a intensităţii faţă de repartiţia de calcul de exponent $n$. Expresia acestei corecţii este:

$$C_2 = \frac{I_\alpha / I_0}{\cos^n\alpha} \quad (14)$$

Formula de calcul devine:

$$E = \frac{I_\varepsilon h}{l_L(a^2 + h^2)} y \cdot \Delta x \cdot C_1 \cdot C_2, \quad (15)$$

în care

$$\Delta x = x_2 - x_1;\ y = \frac{x_2 - x_1}{(1 + x_m^2)^{\frac{3+n}{2}}} \quad (16)$$

Valoarea $y$ este calculată în tabelul 2 pentru valorile $n = 1;\ 1{,}5;\ 2$.

În figura 4 sînt reprezentate grafic valorile coeficientului $C_1$. Dar corecţiile $C_1$ şi $C_2$ sînt în unele cazuri suficient de mici, astfel încît să poată fi neglijate.

Tabelul 2

**Valorile mărimii *y* pentru un şir întrerupt de corpuri de iluminat fluorescent**

| $x$ | $n=1$ | | $n=1{,}5$ | | $n=2$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1,000 | | 1,000 | | 1,000 | |
| | | 20 | | 22 | | 25 |
| 0,1 | 0,980 | | 0,978 | | 0,975 | |
| | | 55 | | 62 | | 68 |
| 0,2 | 0,925 | | 0,916 | | 0,907 | |
| | | 83 | | 92 | | 101 |
| 0,3 | 0,842 | | 0,824 | | 0,806 | |
| | | 99 | | 107 | | 116 |
| 0,4 | 0,743 | | 0,717 | | 0,690 | |
| | | 103 | | 110 | | 128 |
| 0,5 | 0,640 | | 0,606 | | 0,572 | |
| | | 99 | | 104 | | 108 |
| 0,6 | 0,541 | | 0,502 | | 0,464 | |
| | | 91 | | 92 | | 95 |
| 0,7 | 0,450 | | 0,410 | | 0,369 | |
| | | 78 | | 84 | | 79 |
| 0,8 | 0,372 | | 0,326 | | 0,290 | |
| | | 67 | | 60 | | 63 |
| 0,9 | 0,305 | | 0,266 | | 0,227 | |
| | | 60 | | 55 | | 50 |
| 1,0 | 0,245 | | 0,211 | | 0,177 | |
| | | 40 | | 40 | | 39 |
| 1,1 | 0,205 | | 0,171 | | 0,138 | |
| | | 37 | | 33 | | 31 |
| 1,2 | 0,168 | | 0,138 | | 0,107 | |
| | | 30 | | 27 | | 22 (8) |
| 1,3 | 0,138 | | 0,111 | | 0,0842 | |
| | | 24 | | 20 (8) | | 179 |
| 1,4 | 0,114 | | 0,0902 | | 0,0663 | |
| | | 19 (3) | | 166 | | 138 |
| 1,5 | 0,0947 | | 0,0736 | | 0,0525 | |
| | | 158 | | 132 | | 107 |
| 1,6 | 0,0789 | | 0,0604 | | 0,0418 | |
| | | 128 | | 106 | | 83 |
| 1,7 | 0,0661 | | 0,0498 | | 0,0335 | |
| | | 105 | | 85 | | 65 |
| 1,8 | 0,0556 | | 0,0413 | | 0,0270 | |
| | | 86 | | 68 | | 51 |
| 1,9 | 0,0570 | | 0,0345 | | 0,0219 | |
| | | 70 | | 60 | | 40 |
| 2,0 | 0,0400 | | 0,0285 | | 0,0179 | |
| | | 58 | | 41 | | 32 |
| 2,1 | 0,0342 | | 0,0244 | | 0,0147 | |
| | | 49 | | 37 | | 26 |
| 2,2 | 0,0293 | | 0,0207 | | 0,0121 | |
| | | 40 | | 30 | | 20 |
| 2,3 | 0,0253 | | 0,0177 | | 0,0101 | |
| | | 34 | | 26 | | 16 (8) |
| 2,4 | 0,0219 | | 0,0151 | | 0,00842 | |
| | | 29 | | 21 | | 136 |
| 2,5 | 0,0190 | | 0,0130 | | 0,00706 | |
| | | 24 | | 17 | | 110 |
| 2,6 | 0,0166 | | 0,0113 | | 0,00596 | |
| | | 21 | | 15 (0) | | 91 |
| 2,7 | 0,0145 | | 0,00980 | | 0,00505 | |
| | | 17 | | 125 | | 75 |
| 2,8 | 0,0128 | | 0,00855 | | 0,00430 | |
| | | 15 | | 107 | | 62 |
| 2,9 | 0,0113 | | 0,00748 | | 0,00968 | |
| | | 13 | | 90 | | 52 |
| 3,0 | 0,0100 | | 0,00658 | | 0,00316 | |

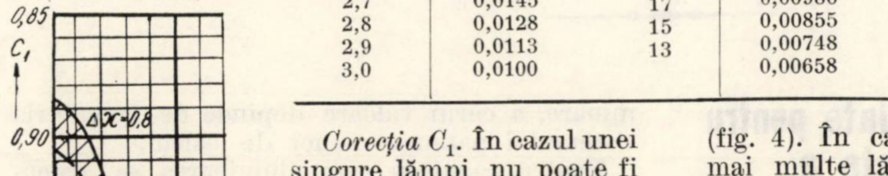



Fig. 4

*Corecţia* $C_1$. În cazul unei singure lămpi nu poate fi mai mare de 15 % şi aceasta sub lampă. Pentru puncte mai depărtate scade sub 5–7 % şi se poate neglija (fig. 4). În cazul unei încăperi iluminate prin mai multe lămpi, această corecţie ia într-un punct de calcul pentru unele lămpi valori pozitive, iar pentru altele valori negative. Practica de calcul a arătat că, dacă sînt cel puţin patru lămpi în încăpere, corecţia $C_1$ se poate neglija.

*Corecţia* $C_2$. A fost introdusă ca să se demonstreze că metoda rapidă de calcul poate da rezultate riguros exacte.

Se va utiliza numai la calcule de mare precizie, dar se neglijează în cazurile practice. Prin această neglijare ecuaţia de calcul are forma :

$$E = \frac{I_{\alpha} h}{l_L(a^2 + h^2)} y \cdot \Delta x \cdot C_1 \qquad (17)$$

Corecţia $C_1$ se introduce în calcule numai în cel mult cîteva puncte de calcul.

**Determinarea exponentului** $n$

În figura 2 s-au arătat curbele fotometrice ale corpurilor de

iluminat cu grătar uzuale. Rezultă ca valori interesante : $n = 1$, pentru corpuri fără grătar, şi $n = 1{,}5$ sau 2, pentru corpuri cu grătar.

Trebuie precizat că zona determinată pentru exponentul $n$ este direcţia $\alpha = 30-50°$. Sub unghiuri mai mici erorile datorate lui $n$ sînt prea mici. Spre exemplu, la $\alpha = 20°$ diferenţa $I_\alpha$ de la $n = 1$ la $n = 2$ este $\frac{0{,}93}{0{,}87} = 7\%$.

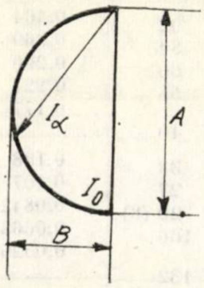



Fig. 5

La unghiuri mai mari de 50°, valoarea absolută a iluminării este mică ; în cazul în care sînt mai multe corpuri, aportul celor peste 50° la iluminatul total este suficient de mic ca să nu mai intereseze eroarea de calcul asupra iluminării parţiale dată de ele.

Exponentul $n$ se poate determina uşor făcînd raportul dintre lăţimea şi înălţimea curbei fotometrice polare în sens longitudinal, aşa cum se arată în figura 5, utilizînd valorile din tabelul 3.

Tabelul

| $B/A$ | 0,50 | 0,44 | 0,39 |
|---|---|---|---|
| $n$ | 1,0 | 1,5 | 2,0 |

Metoda de calcul propusă înlătură erorile şi dezavantajele metodei clasice, ţinînd seama mai bine de distribuţia reală a intensităţilor luminoase pentru corpurile de iluminat fluorescent cu grătar. O serie de tabele şi diagrame uşurează aplicarea practică a metodei, care a fost utilizată cu rezultate satisfăcătoare timp de mai mulţi ani în activitatea de proiectare.

**Bibliografie**


[1] Stenzei, G. *Calculul componentei directe la iluminarea cu benzi luminoase.* În : Lichttechnik, nr. 11, 1963.

[2] Steck, B. *O metodă de calcul pentru benzi luminoase, utilizată la o instalaţie cu lumină puternică, dirijată.* În : Lichttechnik, nr. 5, 1964.

[3] Cividjian, G., Puşcaşu, S. şi Mişu, V. *Calculul iluminărilor produse de izvoare liniare cu tuburi fluorescente.* În : Electrotehnica, nr. 9, 1961.


**(Articol intrat în redacţie la 25 august 1972)**

# Nomograme cu puncte aliniate pentru calculul componentei directe a iluminării determinate de panouri luminoase de formă dreptunghiulară

**Dr. ing. O. Centea**
**şi ing. N. Mira*)**

Din literatura de specialitate [1], [2], [3] se ştie că problema calculului componentei directe a iluminării determinate de panourile luminoase dreptunghiulare se reduce la aplicarea relaţiei :

$$E = e \cdot M \tag{1}$$

pentru un număr de panouri fictive, fiecare avînd unul dintre colţuri pe normala dusă pe planul panoului prin punctul de calcul. În relaţia (1) $E$ este valoarea căutată a iluminării, $M$ — emitanţa panoului iar $e$ — coeficientul de iluminare, a cărui valoare depinde de geometria sistemului panou — punct de calcul.

Pentru cazul în care iluminarea se calculează într-un plan paralel cu planul panoului, coeficientul de iluminare se determină cu relaţia :

$$e = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{Z_1}{\sqrt{1+Z_1^2}}\,\mathrm{arc\ tg}\,\frac{Z_2}{\sqrt{1+Z_1^2}} + \frac{Z_2}{\sqrt{1+Z_2^2}}\,\mathrm{arc\ tg}\,\frac{Z_1}{\sqrt{1+Z_2^2}}\right] \tag{2 a}$$

respectiv, pentru un plan de calcul perpendicular pe planul panoului :

$$e = \frac{1}{2\pi}\left[\mathrm{arc\ tg}\,Z_2 - \frac{1}{\sqrt{1+Z_1^2}}\,\mathrm{arc\ tg}\,\frac{Z_2}{\sqrt{1+Z_1^2}}\right] \tag{2 b}$$

În relaţiile de mai sus $Z_1 = a/h$, $Z_2 = b/h$, unde $h$ este distanţa de la punctul de calcul la planul panoului iar $a$ şi $b$ sînt dimensiunile panoului.

Cu substituţiile

$$\alpha = \mathrm{arc\ tg}\ Z_1,\ \beta = \mathrm{arc\ tg}\ Z_2, \tag{3}$$

*) Ovidiu Centea este conferenţiar la Institutul de construcţii, Facultatea de instalaţii, catedra de Electrotehnică şi instalaţii electrice; Nicolae Mira este asistent la aceeaşi catedră.

relațiile (2) se scriu

$$e = \frac{1}{2\pi}[\sin\alpha\cdot \text{arc tg}(\text{tg}\,\beta\cos\alpha) + \tag{4 a}$$

$$+ \sin\beta\cdot \text{arc tg}(\text{tg}\,\alpha\cos\beta)],$$

$$e = \frac{1}{2\pi}[\beta - \cos\alpha\, \text{arc tg}(\text{tg}\,\beta\cdot\cos\alpha)]. \tag{4 b}$$

Pentru calculul efectiv al coeficienților $e$, în prezent stau la dispoziție două metode. Prima metodă, analitică, constă în calculul expresiilor (2) sau (4), folosind rigla de calcul sau tabelele. Pe această cale, evident, volumul de operații care trebuie efectuate este mare, deci apar următoarele dezavantaje : productivitatea calculului este mică, metoda este greoi de aplicat, este obositoare și din această cauză poate conduce la erori.

Metoda a doua constă în folosirea nomogramelor ; relațiile (2) sau (4) pot fi reprezentate prin nomograme cu curbe cotate (nomogramele lui Ratner ș.a.). De exemplu, conform figurii 1,

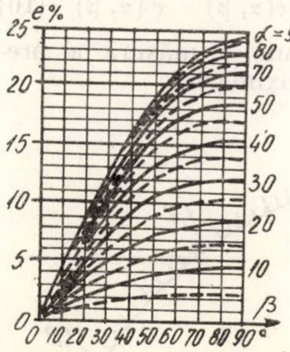



Fig. 1. Nomogramă pentru calculul grafic al iluminării produse de un panou luminos paralel cu planul de lucru.

ixîndu-se valorile $\alpha$ și $\beta$, se determină $e$. Se vede că metoda nomografică este mai expeditivă decît cea analitică, prezentînd și ea însă anumite carențe. Astfel, determinarea lui $e$ necesită efectuarea unei interpolări între curbe, procedeu dificil, obositor și care conduce la erori. Uneori nomogramele sînt prezentate pe hîrtie dublu logaritmică, ceea ce mărește dificultatea interpolării ; este necesar calculul prealabil al valorilor $\alpha$ și $\beta$ ; nomograma nu acoperă întregul cîmp de valori ale variabilelor $Z_1$ și $Z_2$ etc.

Aceste neajunsuri ale nomogramelor apar datorită faptului că ecuațiile (2) și (4) nu sînt anamorfozabile. Ținînd seama de aceasta, s-a căutat rezolvarea problemei pe calea folosirii unor nomograme cu puncte aliniate în locul celor cu linii cotate. În acest fel apar o serie de avantaje ce permit un calcul mult mai rapid și precis în același timp : interpolarea se realizează între puncte și nu între linii, desenul nomogramei este mult mai simplu și de aceea mai puțin obositor pentru ochi etc.

Întrucît relațiile (2) și (4) nu permit anamorfoza, ele nu puteau fi reprezentate direct într-o nomogramă cu puncte aliniate. În urma unor substituții, ecuațiile de calcul al coeficienților de iluminare au putut fi aduse la forme mai simple, care să permită anamorfoza, deci nomografierea. Întrucît cele două relații au forme diferite au fost tratate separat.

**Nomogramele ecuației**

$$e = \frac{1}{2\pi}[\sin\alpha\cdot \text{arc tg}(\text{tg}\,\beta\cdot\cos\alpha) + \tag{4 a}$$

$$+ \sin\beta\cdot \text{arc tg}(\text{tg}\,\alpha\cdot\cos\beta)].$$

Notînd

$$\left.\begin{aligned} e' &= \frac{1}{2\pi}\sin\alpha\cdot \text{arc tg}(\text{tg}\,\beta\cdot\cos\alpha) \\ e'' &= \frac{1}{2\pi}\sin\beta\cdot \text{arc tg}(\text{tg}\alpha\cdot\cos\beta) \end{aligned}\right\} \tag{5}$$

rezultă :

$$e = e' + e''. \tag{6}$$

Se utilizează mai departe substituțiile :

$$\left.\begin{aligned} \sin\alpha &= \frac{\sin\mu}{\cos\nu} \qquad \text{tg}\,\mu = \text{tg}\,\alpha\cdot\cos\beta \\ \sin\beta &= \frac{\sin\nu}{\cos\mu} \qquad \text{tg}\,\nu = \text{tg}\,\beta\cdot\cos\alpha \end{aligned}\right\} \tag{7}$$

și rezultă :

$$e' = \frac{1}{2\pi}\sin\mu\frac{\nu}{\cos\nu}; \quad e'' = \frac{1}{2\pi}\sin\nu\cdot\frac{\mu}{\cos\mu}. \tag{8}$$

Semnificația fizică a arcelor $\alpha$, $\beta$, $\mu$, $\nu$ rezultă din figura 2.

Ecuațiile (7) și (8) se prezintă toate sub forma :

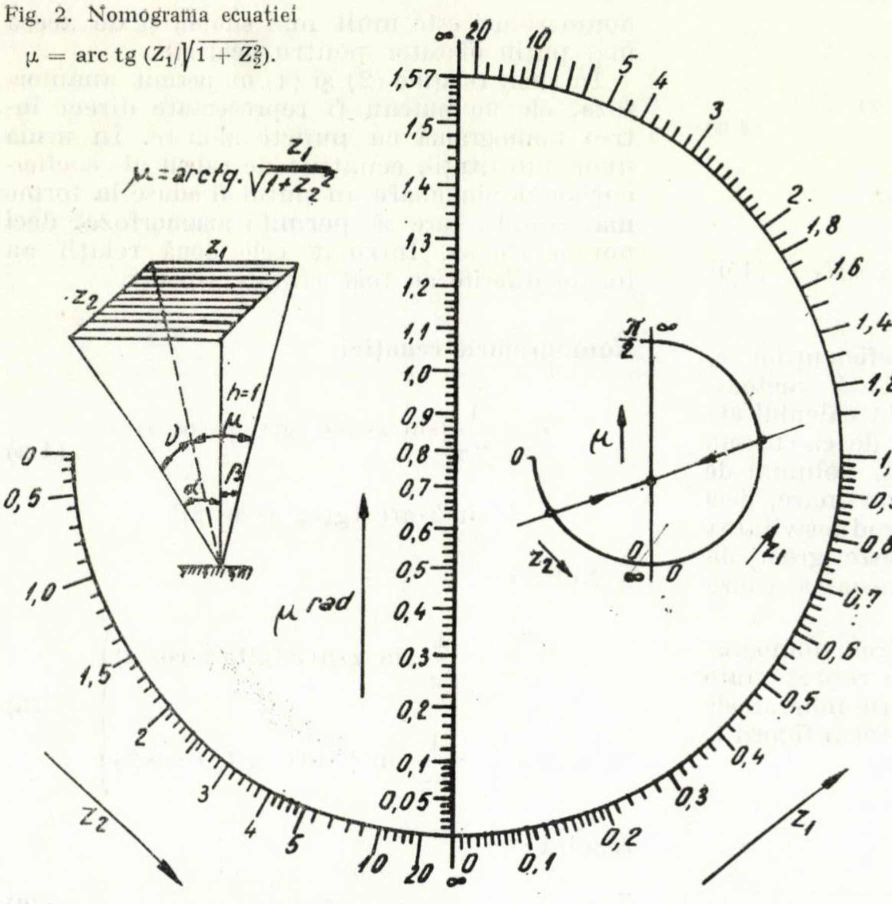
$$W = u\cdot v \tag{9}$$

și, după cum se poate dovedi ușor [4], [6], sînt anamorfozabile.

Utilizînd metodele curente pentru alegerea scărilor de reprezentare și a formei nomogramei, s-au obținut nomogramele din figurile 2 și 3.

Fig. 2. Nomograma ecuației

$\mu = \mathrm{arc\,tg}\,(Z_1/\sqrt{1+Z_2^2})$.




Calculul coeficientului de iluminare cu ajutorul acestei nomograme se efectuează în următoarea ordine:

— se calculează rapoartele $a/h$ și $b/h$;

— punînd $Z_1 = a/h$, $Z_2 = b/h$, cu ajutorul nomogramei din figura 2 se calculează $\mu$. Punînd apoi $Z_1 = b/h$, $Z_2 = a/h$ și utilizînd aceeași nomogramă se determină $\nu$;

— cu $\mu$ și $\nu$ astfel calculați, din nomograma din figura 3, se determină $e'$. Se ia apoi valoarea lui $\nu$ pentru $\mu$ și a lui $\mu$ pentru $\nu$ și cu aceeași nomogramă se determină $e''$;

— se calculează: $e = e' + e''$, care reprezintă coeficientul de iluminare pentru panoul fictiv considerat.

**Exemplu de calcul**: Fie panoul cu dimensiunile $a \times b = 2 \times 4$ m² și $h = 10$ m. Rezultă $a/h = 0{,}2$, $b/h = 0{,}4$. Din nomograma din figura 2 rezultă $\mu = 0{,}187$ și $\nu = 0{,}38$. Utilizînd nomograma din figura 3 se obțin $e' = 1{,}15\,\%$ și $e'' = 1{,}1\,\%$, deci $e = 2{,}25\,\%$.

Trebuie remarcat faptul că nomogramele propuse rezolvă problema calculului coeficientului de iluminare, urmărind în principiu înlocuirea volumului mare de muncă, ce constă ridicări la pătrat, împărțiri, înmulțiri și interpolări în tabele. Totuși metoda nu este suficient de rapidă, întrucît sînt necesare două nomograme și fiecare dintre ele este utilizată de două ori.

Se propune o altă metodă de calcul rapid, cu ajutorul nomogramelor, al valorilor coeficientului de iluminare, care constă în următoarele:

Funcția $e(\alpha, \beta)$ (4 a) se aproximează printr-o funcție oarecare, anamorfozabilă, $e'(\alpha, \beta)$. Atunci eroarea este:

$$\varepsilon(\alpha, \beta) = e(\alpha, \beta) - e'(\alpha, \beta) \qquad (10)$$

și constituie o măsură a preciziei aproximării.

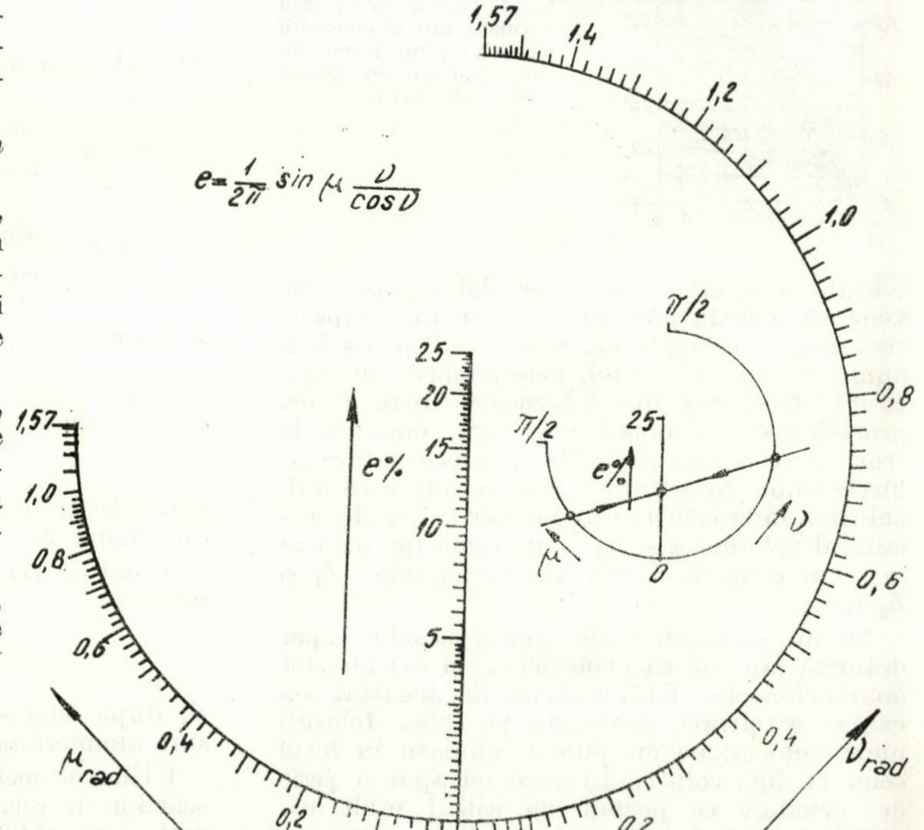



Fig. 3. Nomograma ecuației

$$e' = \frac{1}{2\pi}\sin\mu\,\frac{\nu}{\cos\nu}.$$

Din (10) rezultă :

$$e = e' + \varepsilon, \qquad (11)$$

în care $\varepsilon$ este o corecţie aditivă (de formă) ce trebuie aplicată mărimii $e'$ ce se va numi parte principală a coeficientului de iluminare pentru a calcula $e$. Utilizînd această metodă sînt necesare de asemenea două nomograme (pentru $e'$ şi $\varepsilon$), dar fiecare este utilizată o singură dată.

funcţie ce are următoarele proprietăţi : pentru $\beta = 0$ şi $\beta = \pi/2$, eroarea absolută la înlocuirea lui $e$ prin $e'$ este nulă. Din motive de simetrie, acelaşi lucru se poate afirma şi pentru $\alpha = 0$ şi $\alpha = \pi/2$. De asemenea $e'$ aproximează destul de bine pe $e$ pentru oricare valori ale lui $\alpha$ şi $\beta$.

Pentru $e'$ s-a obţinut nomograma din figura 4, unde partea principală a coeficientului de

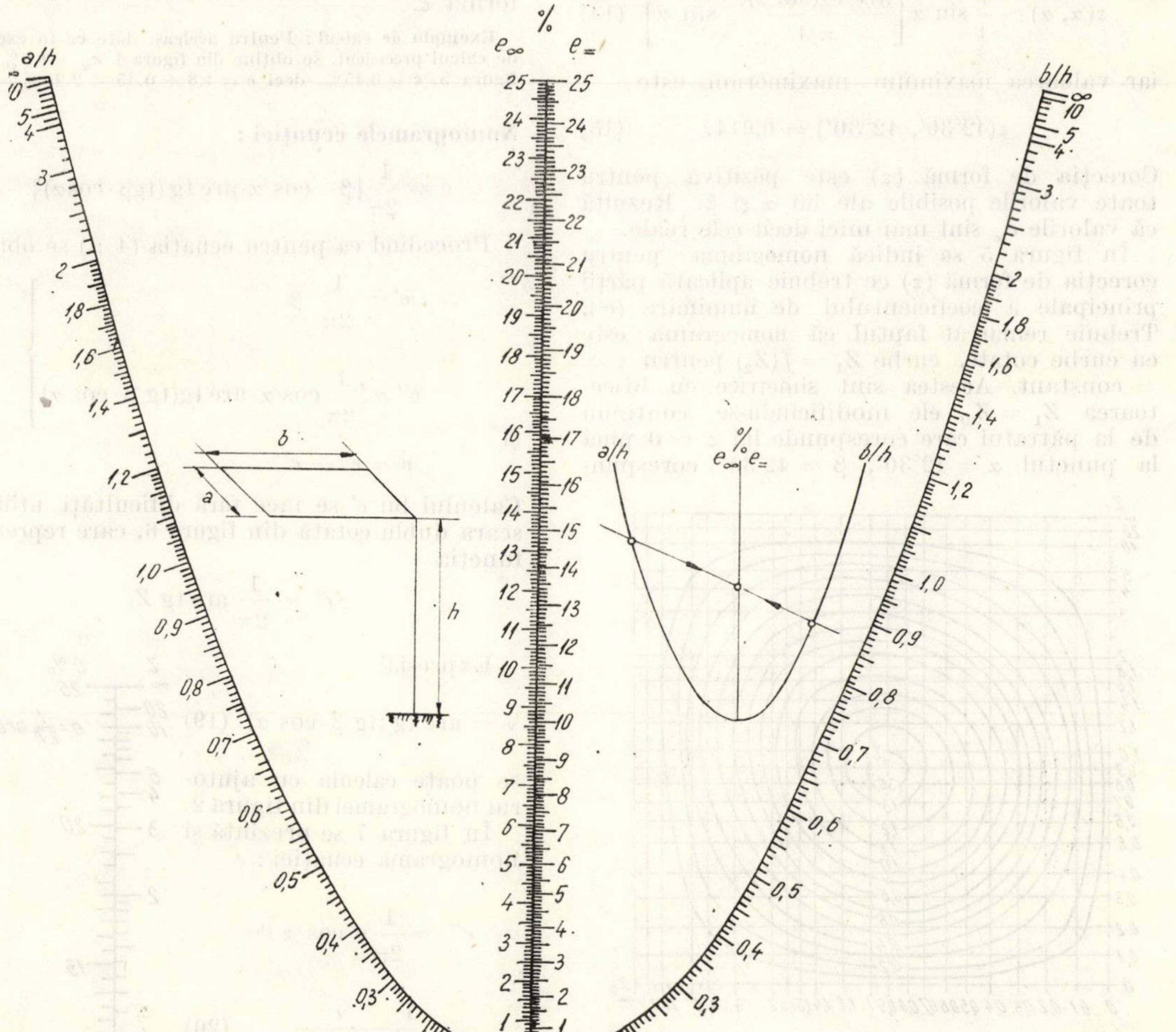



Fig. 4. Nomograma pentru calculul valorii principale a coeficientului de iluminare $e = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{Z_1}{\sqrt{1+Z_1^2}} \operatorname{arc\,tg} \frac{Z_2}{\sqrt{1+Z_1^2}} + \frac{Z_2}{\sqrt{1+Z_2^2}} \operatorname{arc\,tg} \frac{Z_1}{\sqrt{1+Z_2^2}}\right)$.

Simpla examinare a figurii 1 indică posibilitatea aproximării curbelor $e$ ($\beta$) pentru $\alpha =$ = constant prin sinusoide. S-a luat :

$$e' = \frac{1}{4} \sin \alpha \sin \beta, \qquad (12)$$

iluminare $e'$ s-a notat cu $e_\infty$ (deoarece pentru $Z_1$ ($Z_2$) $= \infty$ nomograma indică valori exacte). Variabilele $Z_1$ şi $Z_2$ au ca suport al scării cîte un arc de parabolă, iar $e$ are ca suport axa verticală a parabolei ; gradaţiile lui $e_\infty$ sînt trecute pe partea stîngă a suportului scării. Pe

partea dreaptă a suportului sînt trecute gradaţiile corespunzătoare scării $e_{=}$, obţinute în ipoteza că panoul luminos este de formă pătrată şi

$$e_{=} = \sqrt{e_\infty}\,\frac{\operatorname{arc\,tg}(2\sqrt{e_\infty})}{\pi/2}. \qquad (13)$$

Eroarea absolută este maximă cînd $\alpha = \beta$ :

$$\varepsilon(\alpha, \alpha) = \frac{1}{4}\sin\alpha\left[\frac{\operatorname{arc\,tg}(\sin\alpha)}{\pi/4} - \sin\alpha\right] \qquad (14)$$

iar valoarea maximum maximorum este

$$\varepsilon(42°30', 42°30') = 0{,}014. \qquad (15)$$

Corecţia de formă ($\varepsilon$) este pozitivă pentru toate valorile posibile ale lui $\alpha$ şi $\beta$. Rezultă că valorile $e_\infty$ sînt mai mici decît cele reale.

În figura 5 se indică nomograma pentru corecţia de formă ($\varepsilon$) ce trebuie aplicată părţii principale a coeficientului de iluminare ($e'$). Trebuie remarcat faptul că nomograma este cu curbe cotate, curbe $Z_1 = f(Z_2)$ pentru $\varepsilon =$ = constant. Acestea sînt simetrice cu bisectoarea $Z_1 = Z_2$, ele modificîndu-se continuu de la pătratul care corespunde lui $\varepsilon = 0$ pînă la punctul $\alpha = 42°30'$, $\beta = 42°30'$ corespun-

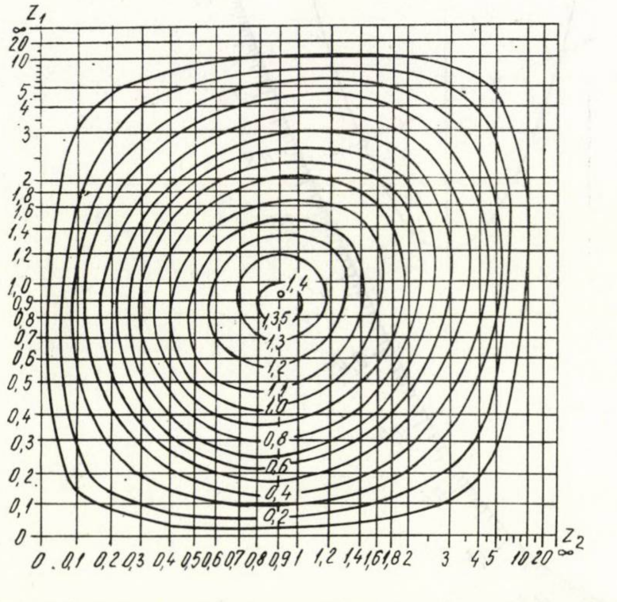


Fig. 5. Curbele de calcul al corecţiei de formă $\varepsilon = f(Z_1, Z_2)$.

zător erorii maxime 1,4/100. Calculul coeficientului de iluminare decurge în felul următor :

— se calculează rapoartele $a/h$ şi $b/h$ ;

— cu ajutorul nomogramei din figura 4 se calculează valoarea principală a coeficientului de iluminare, pe scara $e_\infty$ ;

— din nomograma din figura 5 se determină corecţia de formă ;

— coeficientul de iluminare se determină efectuînd suma (11)

$$e = e_\infty + \varepsilon.$$

Trebuie remarcat faptul că deşi nomograma din figura 5 este de tipul cu linii cotate, citirea este uşoară, iar erorile introduse sînt mici, căci ele afectează numai corecţia şi nu întreaga valoare a coeficientului de iluminare ca în cazul monogramelor cu curbe cotate uzuale.

Pentru cazul în care $Z_1 \simeq Z_2$, coeficientul de iluminare se poate citi direct pe scara $e_{=}$, nemaifiind necesară determinarea corecţiei de formă $\varepsilon$.

**Exemplu de calcul** : Pentru aceleaşi date ca în exemplul de calcul precedent, se obţine din figura 4 $e_\infty = 1{,}8\,\%$ şi din figura 5, $\varepsilon = 0{,}45\,\%$, deci $e = 1{,}8 + 0{,}45 = 2{,}25\,\%$.

**Nomogramele ecuaţiei :**

$$e = \frac{1}{2\pi}\left[\beta - \cos\alpha \cdot \operatorname{arc\,tg}(\operatorname{tg}\beta \cdot \cos\alpha)\right] \qquad (4\,b)$$

Procedînd ca pentru ecuaţia (4 a) se obţin :

$$\left.\begin{aligned} e' &= \frac{1}{2\pi}\,\beta \\ e'' &= \frac{1}{2\pi}\cos\alpha \cdot \operatorname{arc\,tg}(\operatorname{tg}\beta \cdot \cos\alpha) \end{aligned}\right\} \qquad (16)$$

şi

$$e = e' - e''. \qquad (17)$$

Calculul lui $e'$ se face fără dificultăţi utilizînd scara dublu cotată din figura 6, care reprezintă funcţia

$$e' = \frac{1}{2\pi}\operatorname{arc\,tg} Z. \qquad (18)$$

Expresia

$$\nu = \operatorname{arc\,tg}(\operatorname{tg}\beta \cdot \cos\alpha) \qquad (19)$$

se poate calcula cu ajutorul nomogramei din figura 2.

În figura 7 se prezintă şi nomograma ecuaţiei :

$$e'' = \frac{1}{2\pi}\,\nu \cdot \cos\alpha = \frac{1}{2\pi}\,\frac{\nu}{\sqrt{1+Z^2}}. \qquad (20)$$

Calculul coeficientului de iluminare cu ajutorul nomogramelor descrise se face în următoarea ordine :

— se calculează rapoartele $Z_1 = a/h$ şi $Z_2 = b/h$ ;

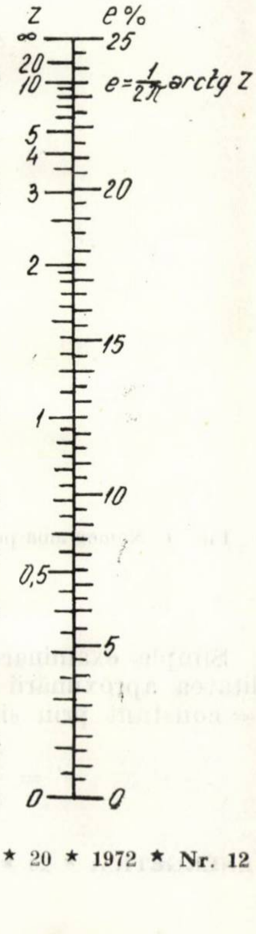



Fig. 6. Scara dublă pentru calculul componentei $e' = \frac{1}{2\pi}$ arc tg $Z$.

— cu ajutorul scării din figura 6 se determină $e'$ în funcție de $Z_2$;

— utilizînd nomogramele din figura 2 se determină $\nu$;

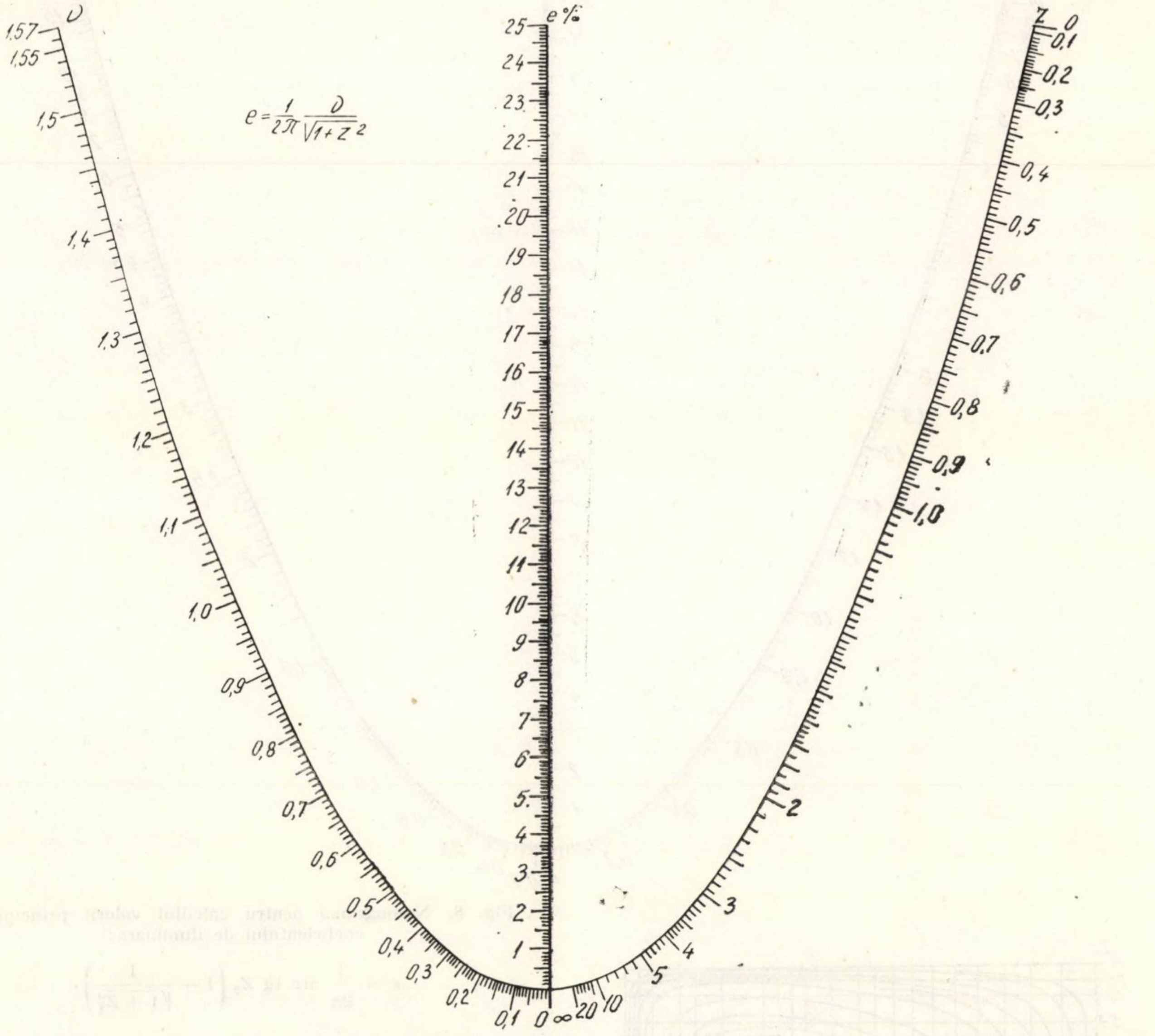



Fig. 7. Nomograma ecuației $e = \frac{1}{2\pi} \frac{\nu}{\sqrt{1+Z^2}}$.

— din nomograma din figura 7 se determină $e''$ în funcție de $\nu$ și $Z_1$;

— se calculează $e = e' - e''$.

**Exemplu de calcul**: Fie panoul de dimensiuni $a \times b = 4 \times 2$ m² și $h = 5$ m. Rezultă $Z_1 = a/h = 0,8$ și $Z_2 = b/h = 0,4$. Din figura 6 rezultă $e'$ (0,4) = 5,9 %, din figura 2 rezultă $\nu = 0,3$, iar din figura 7, $e'' = 3,63$ %. Deci $e = 5,90 - 3,63 = 2,27$ %.

Metoda reduce numărul de operații, dar rămîne totuși puțin productivă. Se utilizează atunci metoda de calcul rapid al expresiei (4 b) prin exprimarea funcției în același mod ca și în cazul expresiei (4 a). În acest caz

$$e' = \frac{1}{2\pi}\beta(1 - \cos\alpha), \quad (21)$$

iar

$$\varepsilon = \frac{1}{2\pi}[\beta - \cos\alpha \cdot \operatorname{arc\,tg}(\operatorname{tg}\beta \cdot \cos\alpha)] - \frac{1}{2\pi}\beta(1-\cos\alpha) = \quad (22)$$

$$= \frac{1}{2\pi}\cos\alpha \cdot \operatorname{arc\,tg}\frac{(1-\cos\alpha)\cdot \operatorname{tg}\beta}{1+\cos\alpha\cdot \operatorname{tg}^2\beta}.$$

Eroarea absolută (22) prezintă un maxim absolut de 0,028 la $\alpha = 66°33'$ și $\beta = 57°50'$.

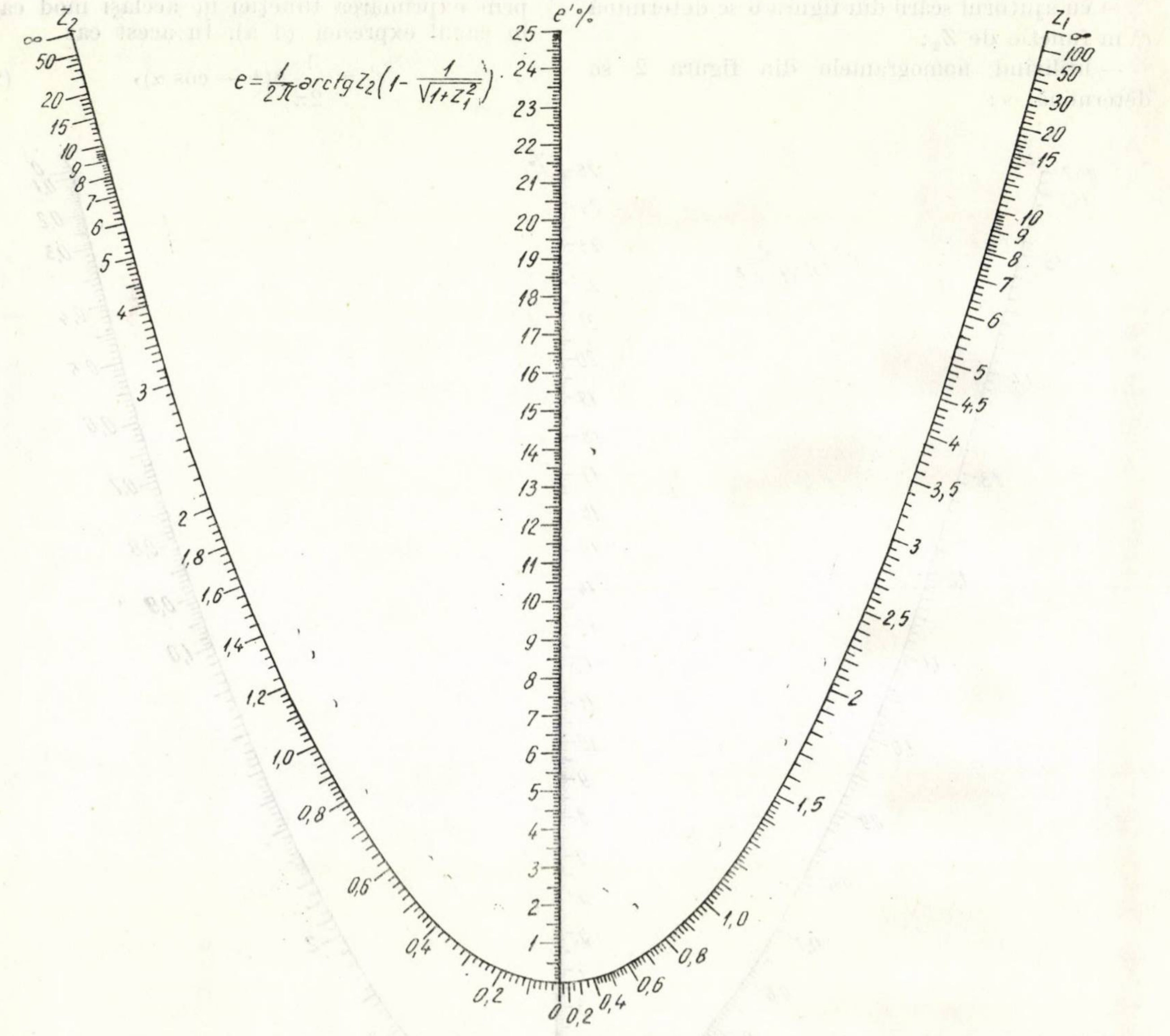
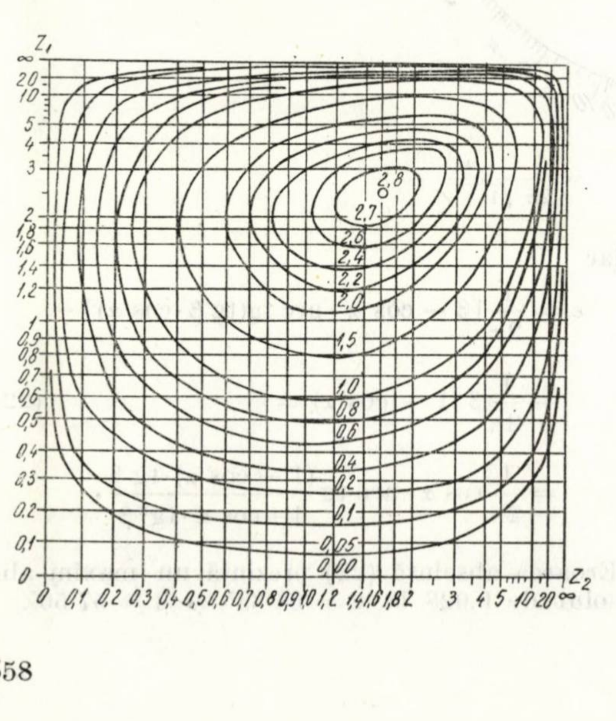


Fig. 8. Nomograma pentru calculul valorii principale a coeficientului de iluminare :

$$e = \frac{1}{2\pi} \text{ arc tg } Z_2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + Z_1^2}}\right).$$



În figura 8 se indică nomograma pentru calculul părții principale a coeficientului de iluminare $e'$ (21), iar în figura 9 nomograma de calcul al corecției de formă $\varepsilon$ ce trebuie aplicată lui $e'$.

←

Fig. 9. Curbele de calcul al corecției de formă $\varepsilon = f(Z_1, Z_2)$.

Calculul coeficientului de iluminare se va executa în felul următor:

— se calculează rapoartele $Z_1 = a/h$ și $Z_2 = b/h$;

— utilizînd nomograma din figura 8 se calculează $e'$, partea principală a coeficientului de iluminare;

— prin utilizarea nomogramei din figura 9 se determină corecția de formă $\varepsilon$;

— se calculează $e = e' + \varepsilon$.

**Exemplu de calcul:** Pentru aceleași date ca în exemplul de calcul anterior se deduc $e' = 1{,}34\%$, $\varepsilon = 0{,}93\%$ și $e = 1{,}34 + 0{,}93 = 2{,}27\%$.

## Concluzii

— Nomogramele recomandate în cadrul lucrării permit calculul valorii coeficientului de iluminare determinat de panourile luminoase, în mod exact, rapid, cu mică posibilitate de greșeli și fără a necesita eforturi deosebite.

— Sînt propuse două tipuri de calcule. Primul tip presupune numai calcule cu nomograme cu puncte aliniate. Este însă mai puțin rapid, deoarece utilizează nomogramele de patru ori pentru un calcul și necesită notarea valorilor intermediare. Al doilea tip de calcule necesită numai două calcule cu nomograme. Deși una dintre nomograme este cu curbe cotate, *calculul prin ultima metodă este mult mai rapid și mai avantajos*. Trebuie subliniat faptul că eroarea mai mare pe care nomograma cu curbe cotate o introduce în mod inerent nu prezintă mare importanță, întrucît eroarea o suferă corecția de formă și nu valoarea principală a coeficientului de iluminare.

— În cadrul lucrării se propune o metodă generală de calcul prin nomograme a valorilor determinate din ecuații neanamorfozabile. Metoda constă în aproximarea ecuației date printr-o funcție care să o reprezinte cît se poate de exact, dar să fie anamorfozabilă. Se va obține astfel valoarea principală a mărimii de calculat. Corecția de formă rezultă dintr-o nomogramă cu curbe cotate ușor de construit.

**Bibliografie**


[1] Gheorghiu, N. și Militaru, P. *Iluminatul electric*. Editura energetică de stat, București, 1953.

[2] * * * *Manualul inginerului electrician*, vol. 5. Editura tehnică, București, 1957.

[3] Corodeanu, I. *Curs de instalații electrice*. Editura didactică și pedagogică, București, 1964.

[4] Bal, L. și Radó, F. *Lecții de nomografie*. Editura tehnică, București, 1956.

[5] Nevski, B. A. *Spravocinaia kniga po nomografii*. G.I.T.T.L., Moskva–Leningrad, 1951.

[6] Pentkovski, M. V. *Nomograme*. Editura tehnică, București, 1956 (traducere din limba rusă).

[7] * * * *Hütte, manualul inginerului*. A.G.I.R., București, 1947 (traducere din limba germană).

[8] Rîjik, I. M. și Gradstein, I. S. *Tabele de integrale, sume, serii și produse*. Editura tehnică, București, 1955 (traducere din limba rusă).


(Articol intrat în redacție la 25 august 1972)

# Metodă de control al calității iluminatului din punctul de vedere al distribuției luminanțelor în încăperile de lucru din construcțiile civile

Dr. ing. C. Bianchi *)

## Generalități. Domeniul studiului

Odată cu trecerea la sursele luminoase fluorescente de mare eficacitate luminoasă (70 lm față de 10–15 lm/W la surse incandescente), nivelurile de iluminare au crescut foarte mult. Astfel, dacă pentru o sală de proiectare se cereau după normele vechi 75 lx, normele astăzi ajung la 300–500 lx. Dacă într-o sală de desen apăreau satisfăcători 100 lx, astăzi normele indică 400 lx.

În aceste condiții micile defecte calitative din punctul de vedere al distribuției luminanțelor, care la niveluri mici de iluminare erau aproape nesesizabile, încep să iasă în evidență, dînd un semnal se alarmă asupra pericolului ce-l reprezintă pentru confort.

Pentru a se putea urmări mai ușor problema calității, trebuie definite microclimatul luminos și condițiile de realizare a confortului vizual.

Elementele fotometrice care concură la realizarea iluminatului artificial al încăperilor, și anume:

— condițiile de iluminare (niveluri);

— uniformitatea iluminării;

— natura surselor luminoase și culoarea lor;

— repartiția fluxului luminos și distribuția luminanțelor în încăpere;

— culoarea suprafețelor reflectate,

constituie în totalitatea lor microclimatul luminos.

Desigur că, pentru obținerea confortului vizual, este necesar să se exercite o influență pozitivă asupra elementelor componente ale microclimatului luminos, atît asupra celor de ordin cantitativ, cît și calitativ.

*) Cornel Bianchi este șef de lucrări la Institutul de construcții, Facultatea de instalații, catedra de Electrotehnică și instalații electrice.

Dacă nivelurile de iluminare şi uniformitatea iluminării în planul util sînt factori relativ uşor controlabili, dacă natura surselor, culoarea lor şi culoarea suprafeţelor reflectate sînt factori calitativi ce pot fi de asemenea menţinuţi în limitele unor prescripţii, distribuţia luminanţelor în cîmpul vizual constituie un factor mult mai delicat şi mai dificil de controlat.

După cum se ştie, literatura de specialitate prezintă multe metode de control; aplicarea lor este însă destul de laborioasă (metoda indicilor de orbire) sau se bazează pe cunoaşterea unor parametri ce nu sînt indicaţi pentru corpurile de iluminat ce se produc în ţara noastră.

S-a pus astfel problema găsirii unui indice de control al distribuţiei luminanţelor, care să fie uşor de aplicat.

## Cercetări asupra controlului distribuţiei luminanţelor în cîmpul vizual

*Consideraţii teoretice*

În scopul delimitării unui domeniu cu caractere comune s-a redus sfera încăperilor numai la cele aferente construcţiilor civile, la care procesul de muncă este asemănător, iar în cîmpul vizual interior suprafeţe simple, puţine (masa de lucru, planşeta etc.). În încăperile aparţinînd construcţiilor industriale problema nu poate fi simplificată la un caz comun, atît datorită diversităţii echipamentului tehnic ce intervine în procesul tehnologic şi care creează o mulţime de suprafeţe reflectante, cît şi geometriei variate a încăperilor (formă şi dimensiuni).

În aceste condiţii pentru construcţiile civile, s-a căutat să se găsească un indice (raport) de referinţă, care prin proprietăţile sale să unească elemente interesante în distribuţia luminanţelor în cîmpul vizual sau la periferia sa.

S-au luat în considerare încăperi de lucru din construcţii civile, ca birouri de toate tipurile, încăperi destinate proiectării, săli de învăţămînt etc., cu înălţime medie de 3–3,5 m.

Fie o astfel de încăpere de formă paralelipipedică (forma curentă) ca în figura 1.

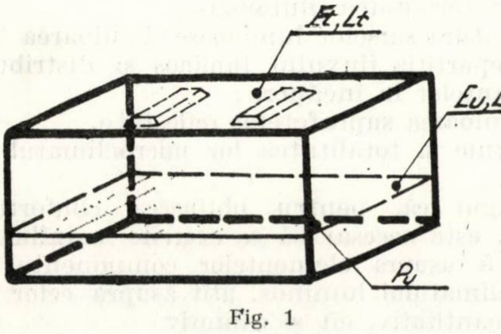


Fig. 1

Fie:

$E_u$ — iluminarea medie în planul util;

$E_t$ — iluminarea medie în planul tavanului;

$L_u$ — luminanţa medie a obiectelor din planul util;

$L_t$ — luminanţa medie în planul tavanului;

$\rho_t$ — factorul de reflexie a tavanului;

$\rho_u$ — factorul de reflexie a obiectelor din planul util.

Plafonul şi obiectele din planul util (hîrtie, carton etc.) se pot aproxima cu nişte corpuri difuzante sau perfect difuzante.

Atunci se pot scrie următoarele relaţii:

$$L_t = \frac{\rho_t}{\pi} E_t \quad (1)$$

$$L_u = \frac{\rho_u}{\pi} E_u \quad (2)$$

împărţind (1) la (2) rezultă:

$$\frac{L_t}{L_u} = \frac{\rho_t}{\rho_u} \cdot \frac{E_t}{E_u}. \quad (3)$$

Dacă $\rho_t \cong \rho_u$, culoarea hîrtiei utilizate în planul util fiind apropiată de culoarea plafoanelor folosite curent, relaţia (3) devine:

$$\frac{L_t}{L_u} \cong \frac{E_t}{E_u} = K. \quad (4)$$

S-a pus problema determinării pe linie experimentală a raportului optim ($K_0$), încît distribuţia luminanţelor să satisfacă condiţiile de confort.

*Cercetări experimentale*

Pentru determinarea raportului $K_0$ s-au propus o serie de obiective (încăperi de lucru din construcţiile civile) asupra cărora s-au efectuat măsurări, observaţii directe, anchete şi calcule prin metoda indicilor de orbire. De asemenea, s-a verificat dacă realizarea iluminării corespunde şi din punct de vedere cantitativ (nivel de iluminare) şi al uniformităţii iluminării în planul util şi pe suprafeţele de lucru.

În suprafaţa utilă s-a neglijat spaţiul de circulaţie, considerînd suprafaţa efectivă de lucru. S-au notat:

$E_{mu}$ — iluminarea medie în planul util;

$E_{min\,u}$ — iluminarea minimă în planul util;

$E_{min\,s}$ — iluminarea minimă pe suprafaţa de lucru;

$E_{max\,s}$ — iluminarea maximă pe suprafaţa de lucru.

La verificarea uniformității s-au considerat suprafețele de lucru cele mai dezavantajate. În studiu s-au făcut cercetări experimentale la șapte subiecte: sală de clasă luminată cu surse incandescente, ateliere și săli de proiectare (patru) iluminate cu surse fluorescente, săli de clasă și învățămînt (două) iluminate cu surse fluorescente.

În cele ce urmează se descrie metoda de cercetare utilizată pentru unul din subiecte (sală de proiectare), pentru celelalte modul de experimentare fiind analog.

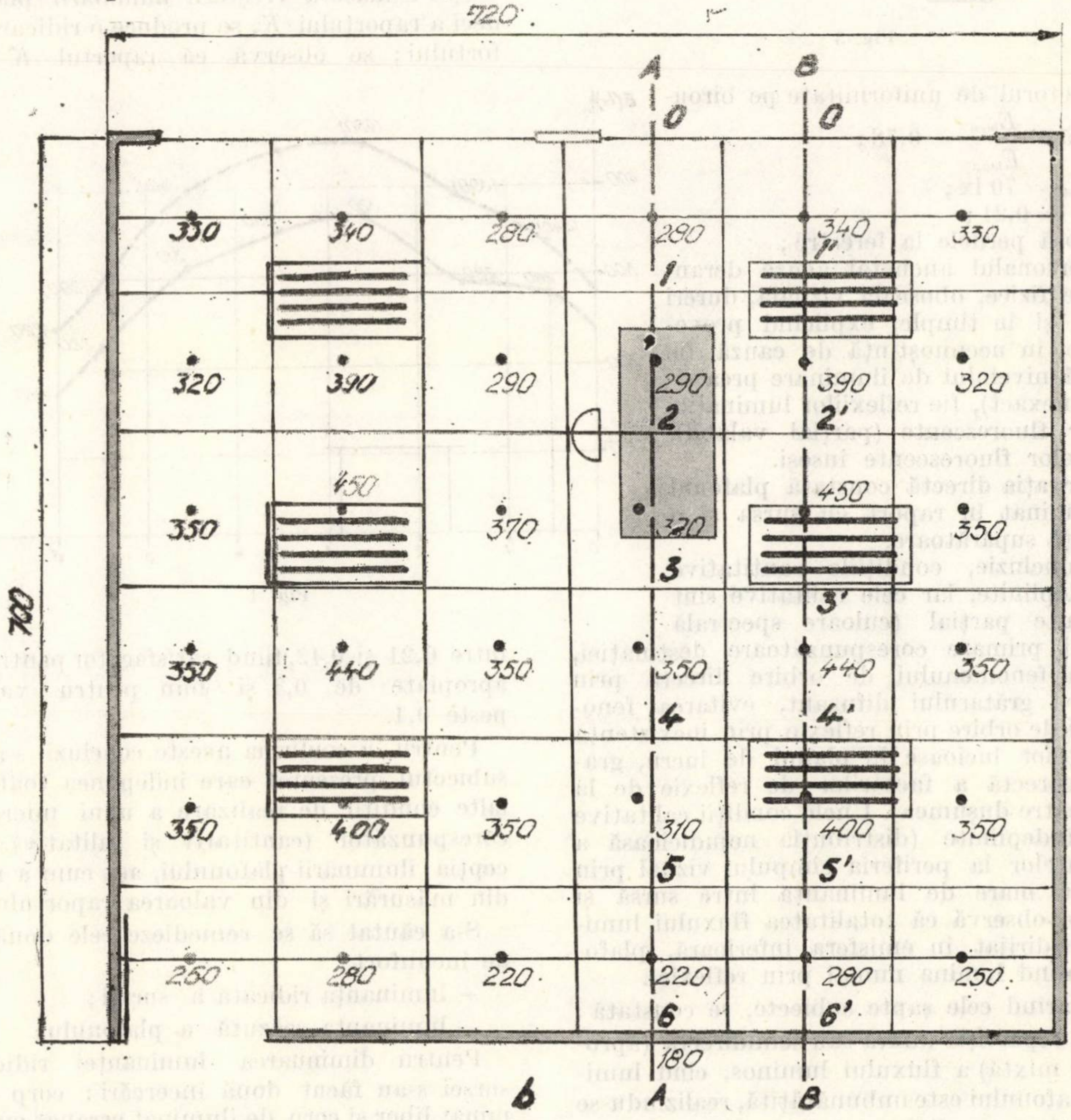


Fig. 2

Astfel în figura 2 este dat planul atelierului de proiectat și realizat în anii 1967—1968 avînd următoarele caracteristici:

— iluminat cu surse fluorescente;

— șase panouri luminoase echipate fiecare cu patru lămpi fluorescente de 40 W (LFA/2) de culoare albă, ecranate cu grătar difuzant (fig. 3);

— proiectarea s-a făcut la un nivel mediu admisibil de 300 lx;

— instalație depreciată 100%.

S-au obținut următoarele rezultate:

— $E_{mu} = 335$ lx (peste valoarea minimă admisibilă de 300 lx);

— curbele de variație ale iluminărilor în două planuri interesante pentru studiul uniformității sînt date în figura 4;

— $E_{min\,u} = 220$ lx;

$E_{min\,s} = 290$ lx;

— $E_{max\,s} = 370$ lx

— factorul de uniformitate în planul util:

$$\frac{E_{min\,u}}{E_{mu}} = 0{,}65;$$

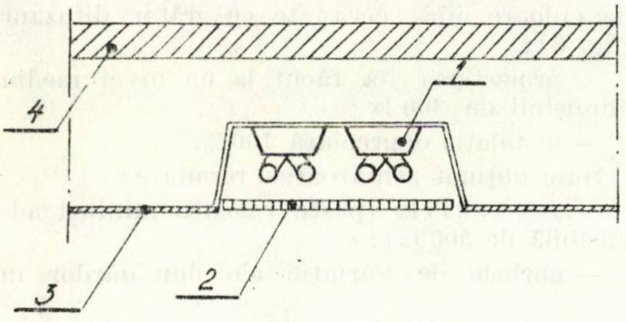


Fig. 3

— factorul de uniformitate pe birou-planșetă : $\frac{E_{min}}{E_{max}} = 0,78$ ;

— $E_{mt} = 70$ lx ;

— $K = 0,21$ ;

— lipsă perdele la ferestre ;

— personalul anchetat acuză deranjamente fizice, oboseală vizuală, dureri oculare și în tîmple, explicînd proveniențele, în necunoștință de cauză, fie datorită nivelului de iluminare prea ridicat (inexact), fie reflexiilor luminației surselor fluorescente (parțial valabil), fie surselor fluorescente înseși.

Observația directă constată plafonul slab iluminat în raport cu sursa și o ambianță supărătoare.

În concluzie, condițiile cantitative sînt îndeplinite, iar cele calitative sînt îndeplinite parțial (culoare spectrală a sursei primare corespunzătoare destinației, evitarea fenomenului de orbire directă prin utilizarea grătarului difuzant, evitarea fenomenului de orbire prin reflexie prin inexistența suprafețelor lucioase în planul de lucru, gradarea corectă a factorilor de reflexie de la plafon către dușumea). Unele condiții calitative sînt neîndeplinite (distribuția nejudicioasă a luminanțelor la periferia cîmpului vizual prin diferența mare de luminanță între sursă și fond; se observă că totalitatea fluxului luminos este dirijat în emisfera inferioară, plafonul primind lumina numai prin reflexie).

Comparînd cele șapte subiecte, se constată :

*a*) La repartiția mixtă sau semidirectă (apropiată de mixtă) a fluxului luminos, cînd luminanța plafonului este îmbunătățită, realizîndu-se deci diminuarea diferenței de luminanțe sursă-fond, se obține o calitate corespunzătoare dacă și celelalte condiții calitative și cantitative sînt îndeplinite.

*b*) La apariția unei componente de flux în emisfera superioară prin înclinarea corpurilor de iluminat cu repartiție directă, se obține o diminuare a contrastului dintre sursă și fond care poate fi satisfăcătoare, dar nu mulțumitoare.

*c*) Sistemul de iluminat asimetric dirijat (fig. 5) este favorabil și din punctul de vedere al distribuției luminanțelor la periferia cîmpului vizual *).

*d*) Lipsa perdelelor la ferestre (factor de reflexie foarte scăzut) produce o senzație neplăcută (contrast de luminanțe accentuat), mai puțin sesizabilă în ansamblu, fiind în general în afara cîmpului vizual sau la periferia sa.

*e*) Pe măsura creșterii iluminării plafonului, deci a raportului $K$, se produce o ridicare a confortului ; se observă că raportul $K$ variază

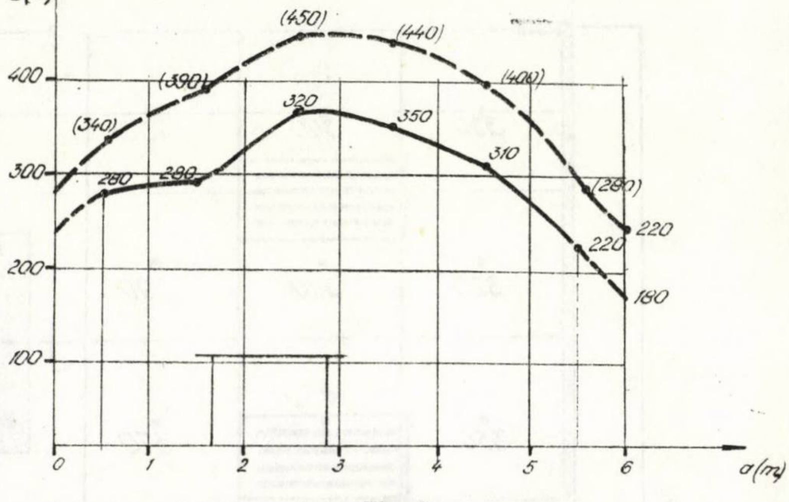


Fig. 4

între 0,21 și 0,42, fiind satisfăcător pentru valori apropiate de 0,3 și bun pentru valori de peste 0,4.

Pentru a confirma aceste concluzii s-a reluat subiectul prezentat care îndeplinea toate celelalte condiții de realizare a unui microclimat corespunzător (cantitativ și calitativ) cu excepția iluminării plafonului, așa cum a rezultat din măsurări și din valoarea raportului $K$.

S-a căutat să se remedieze cele două cauze de inconfort :

— luminanța ridicată a sursei ;

— luminanța scăzută a plafonului.

Pentru diminuarea luminanței ridicate a sursei s-au făcut două încercări : corp de iluminat liber și corp de iluminat ecranat cu panou difuzant translucid.

*) Acest sistem asimetric dirijat mai prezintă și alte avantaje :

— iluminatul artificial păstrează același sens și direcție ca iluminatul natural la distribuirea corespunzătoare a mobilierului ;

— se elimină umbrele pe masa de lucru și reflexele inconfortabile ;

— o mai bună utilizare a fluxului luminos, eliminîndu-se pierderile prin fereastră.

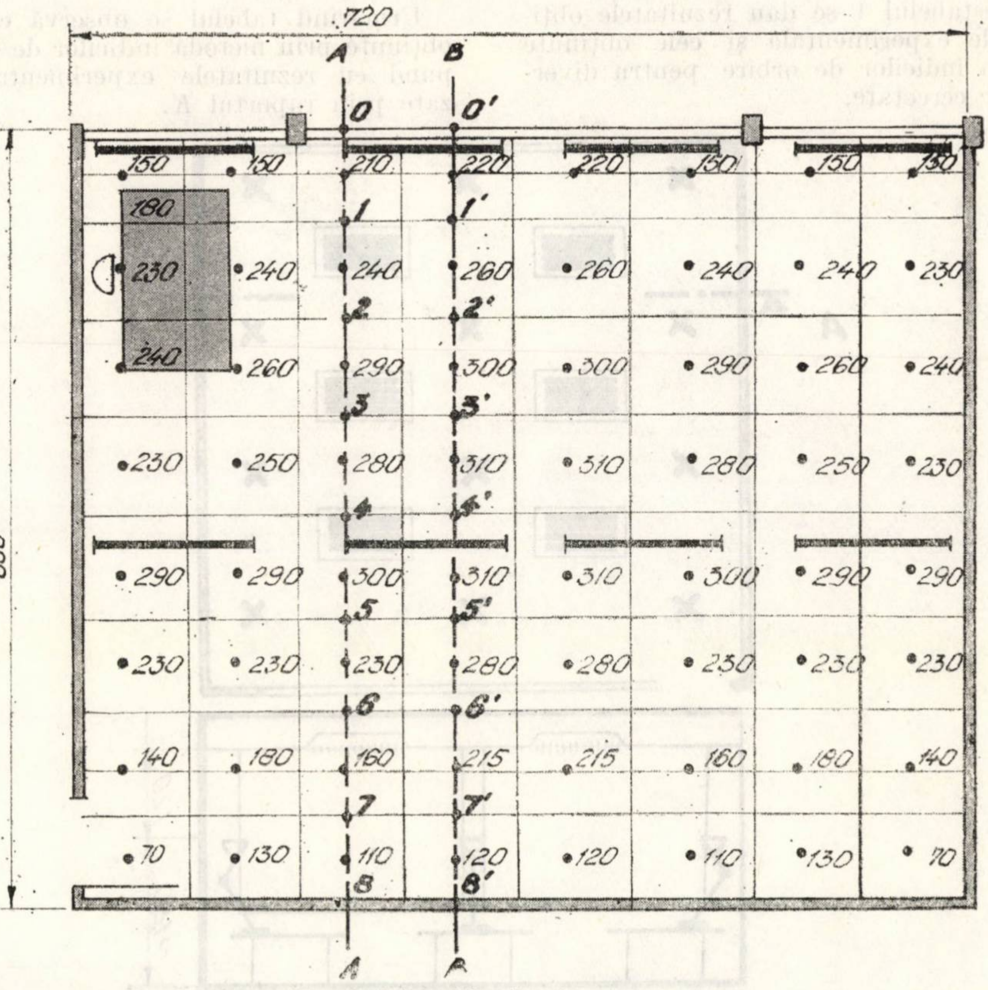



Fig. 5

În urma experimentărilor a rezultat că ridicarea nivelului de confort este neînsemnată prin micşorarea luminanţei sursei, contrastul sursă-fond continuînd să se menţină la un nivel ridicat, ceea ce se manifestă şi prin raportul *K*, care variază între limite foarte strînse (0,19—0,22).

Prin introducerea componentei de flux superior (fig. 6) se produce o ridicare a iluminării şi deci a luminanţei plafonului, provocînd scăderea contrastului sursă-fond şi îmbunătăţirea distribuţiei luminanţelor în cîmpul vizual şi la periferia lui, adică îmbunătăţirea confortului, ceea ce se manifestă în mod evident prin mărirea lui *K*.

Trebuie menţionat că soluţia experimentată are un caracter de laborator. Ea poate fi realizată practic şi în alte sisteme, care însă să asigure în orice caz o componentă corespunzătoare în emisfera superioară. În figura 7 se dau două posibilităţi de rezolvare.

Soluţia din figura 7 *a* presupune folosirea simultană a surselor fluorescente *1*, montate în panou cu ecran difuzant (iluminat direct), împreună cu sursele incandescente *2*, (cupe opace deschise la partea inferioară care realizează un iluminat indirect). Soluţia este mai pretenţioasă, utilizabilă însă pentru birouri importante (de conducere).

În figura 7 *b* este dată rezolvarea cu panouri luminoase care prezintă, prin forma panoului difuzant *1*, semiîngropat în plafonul fals (fig. 7 *c* şi *d*), o componentă de flux superior ($\Phi_{\Omega}$), care în anumite condiţii poate satisface necesităţile de iluminare a plafonului.

Din experimentarea pe suprafeţele anterior expuse se constată legătura directă dintre distribuţia luminanţelor şi raportul *K*. În cele ce urmează se va constata cum se verifică aceste rezultate prin comparare cu cele obţinute prin metoda indicilor de orbire.

**Compararea rezultatelor obţinute pe cale experimentală cu cele obţinute prin metoda indicilor de orbire**

În scopul verificării concluziilor la care s-a ajuns prin experimentările întreprinse, s-a utilizat metoda de control prin calcul al distribuţiei luminanţelor prin compararea ,,indicilor de orbire''.

Astfel, în tabelul 1 se dau rezultatele obținute pe cale experimentală și cele obținute prin metoda indicilor de orbire pentru diversele subiecte cercetate.

Urmărind tabelul se observă că rezultatele obținute prin metoda indicilor de orbire corespund cu rezultatele experimentale concretizate prin raportul *K*.

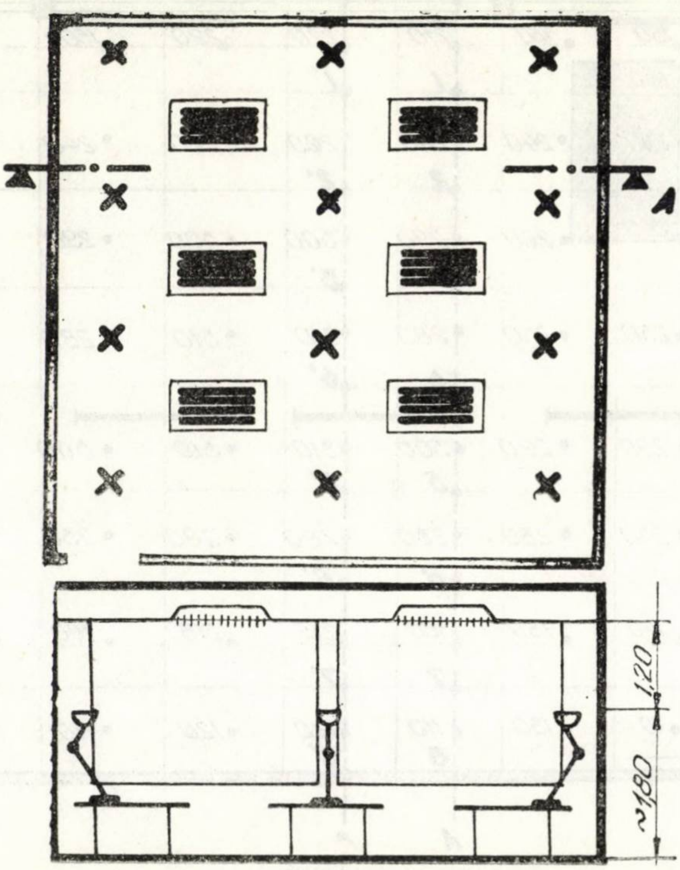



Fig. 6

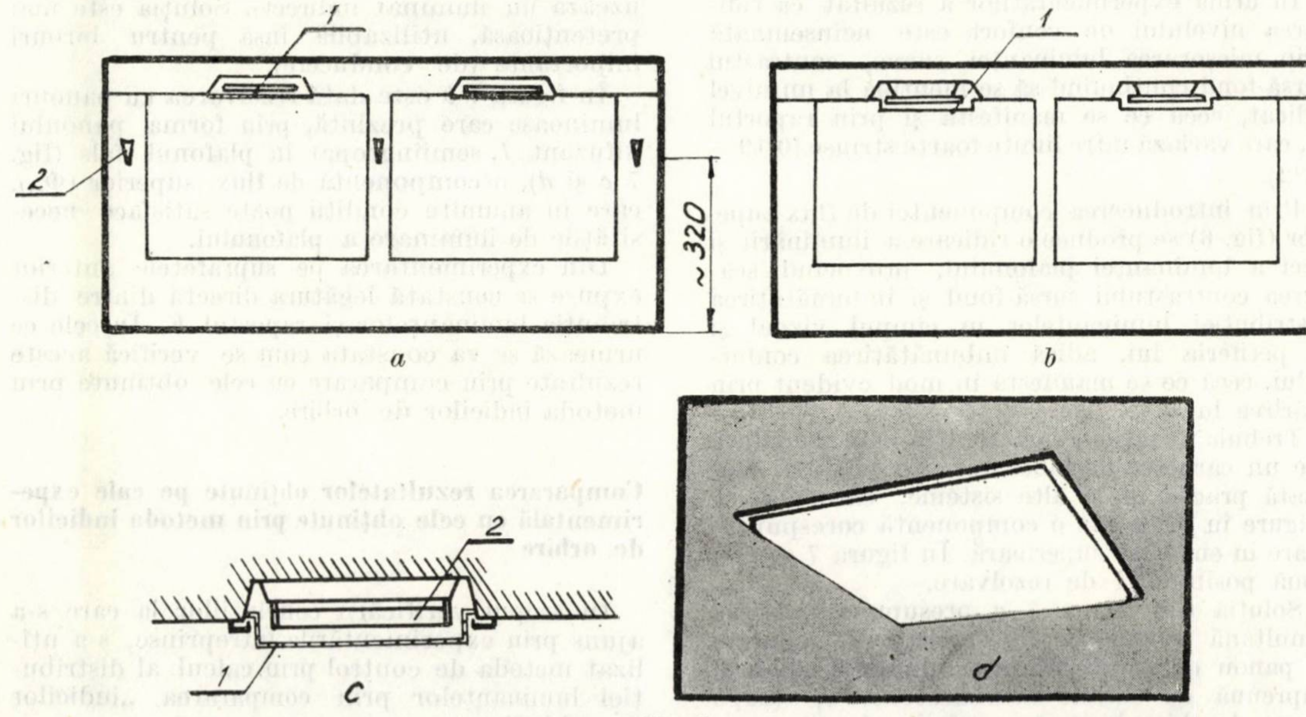



Fig. 7

*Tabelul 1*

| Nr. subiect | Rezultatele experimentării | | | Rezultate prin metoda indicilor de orbire | | Observații |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $E_{mu}$ | $E_{mt}$ | $K = \frac{E_{mt}}{E_{mu}}$ | Indice admisibil | Indice final (calculat) | |
| 1 | 63 | 35 | 0,55 | 16 | 14,8 | Nu corespunde cantitativ |
| 2 | 335 | 70 | 0,21 | 19 | 22,8 | Nu corespunde calitativ |
| 2′ | 320 | 120 | 0,375 | 19 | 18 | S-a obținut prin modificarea sub. 2, introducînd componenta suplimentară în emisfera superioară. Bun calitativ |
| 3 | 220 | 60 | 0,27 | 19 | 18,7 | Satisfăcător calitativ |
| 4 | 285 | 120 | 0,42 | 19 | 13 | Bun calitativ |
| 5 | 395 | 93 | 0,24 | 16 | 19 | Nu corespunde calitativ |
| 6 | 239 | 80 | 0,385 | 19 | 15 | Bun calitativ |
| 7 | 280 | 65 | 0,23 | 16 | 18,5 | Nu corespunde calitativ |

**Concluzii**

În figura 8 s-a reprezentat într-un grafic variația confortului din punctul de vedere al distribuției luminanțelor în cîmpul vizual sau la periferia lui ($C_L$), în funcție de raportul $K = \frac{E_{mt}}{E_{mu}}$, considerînd *):

— $C_L = 100\%$, cînd $K = 1$, adică $E_{mt} = E_{mu}$;

— $C_L = 0$, cînd $K = 0$, adică $E_{mu} \gg E_{mt}$ (plafon practic neluminat);

— $C_L = 100\%$, cînd $K = 0{,}4$, senzație de confort bună;

— $C_L = 50\%$, cînd $K = 0{,}3$, senzație de confort satisfăcătoare;

— $C_L = 25\%$, cînd $K = 0{,}2$, senzație de oboseală vizuală și orbire prin contrast în timp;

— $C_L < 0{,}25$, cînd $K < 0{,}2$, senzație de oboseală vizuală și orbire prin contrast în timp inacceptabilă.

Din această reprezentare grafică se poate citi cu ușurință zona confortabilă, economică, pentru $C_L = 50-75\%$ pentru construcții civile. Zona $C_L = 25-50\%$ nu este satisfăcătoare pentru încăperile de lucru din construcțiile civile de felul celor analizate.

Se observă că gradul de confort din punctul de vedere al distribuției luminanțelor ($C_L$) crește destul de repede (pantă mare) la început cu valoarea raportului ($K$), pentru ca după atingerea gradului de confort bun (75%) să crească încet pînă la confortul foarte bun (100%).

Reluînd cele șapte subiecte, se observă, de asemenea, că rezultatele practice optime s-au obținut în cazul utilizării corpurilor de iluminat *CGC*, care prin proporția de flux dirijată în emisfera superioară creează ambianța confortabilă necesară desfășurării procesului de muncă.

Trebuie subliniat că pentru încăperile de divertisment (săli de spectacole, cluburi etc.) sau încăperi de servire a populației (magazine, restaurante, cofetării etc.) nivelul de confort trebuie să fie mai ridicat și din punctul de vedere al luminanțelor, adică peste $C_L = 0{,}75\%$, deci pentru valori ale raportului $K > 0{,}4$.

În concluzie, metoda controlului prin calcul al distribuției luminanțelor în cîmpul vizual și la periferia lui se poate realiza într-un mod simplu prin încadrarea raportului $K = \frac{E_{mt}}{E_{mu}}$ în cadrul valorilor admise, obținute conform diagramei din figura 8 ($K = 0{,}3-0{,}4$, iar pentru confort sporit $K > 0{,}4$).

Bineînțeles, ca și în cazul metodei indicilor de orbire, condiția realizării raportului este necesară, dar nu și suficientă în obținerea confor-

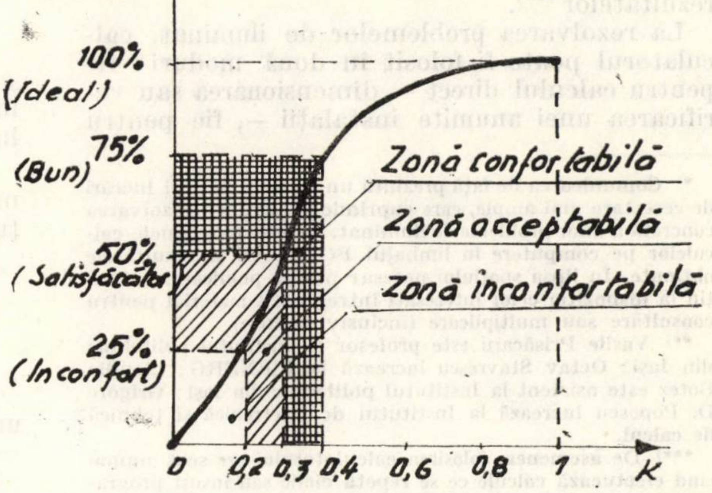


Fig. 8

*) Aceste considerente au fost astfel alese pe baza observațiilor directe și a anchetei asupra personalului din încăperile experimentate mai înainte.

tului vizual, trebuind să fie dublată de îndeplinirea condiţiilor uzuale de cantitate (nivel de iluminare) şi calitate (uniformitatea iluminării în planul util, culoarea sursei şi a suprafeţelor reflectante, amplasarea corectă a corpurilor de iluminat naturale — paralel cu axul vertical — evitarea fenomenului de orbire directă şi prin reflexie).*)

*) Aceste considerente au fost astfel alese pe baza observaţiilor directe şi anchetei asupra personalului din încăperile experimentate.

(Articol intrat în redacţie la 25 august 1972)

# Aplicarea calculatoarelor electronice la calculul fotometric al instalaţiilor de iluminat*)

Dr. ing. V. Prisăcaru, ing. O. Stavrescu, ing. C. Botez şi ing. G. D. Popescu **)

Scopul calculului fotometric al instalaţiilor de iluminat este să determine mărimile care caracterizează cantitatea şi calitatea iluminatului: iluminarea, luminanţa (strălucirea), uniformitatea, contrastele, umbrele, reflexia şi gradul de orbire, culorile. În majoritatea cazurilor calculele se opresc la calculul iluminării, cea mai importantă dintre aceste mărimi.

Metodele pentru calculul iluminatului, care au evoluat în ultimii ani spre determinări tot mai precise ale mărimilor fotometrice, în scopul controlului cît mai strîns al calităţii iluminatului, au condus la calcule complexe, necesitînd un volum mare de muncă.

Cum aceasta s-a produs concomitent cu dezvoltarea şi răspîndirea calculatoarelor electronice, ele au început a fi folosite tot mai frecvent la rezolvarea problemelor de iluminat, pentru automatizarea calculelor. Deoarece însă folosirea maşinilor este costisitoare, folosirea computerelor este indicată numai pentru metodele necesitînd calcule complicate — formule cu operaţii matematice numeroase — şi pentru metodele care necesită un grad înalt de precizie a rezultatelor***).

La rezolvarea problemelor de iluminat, calculatorul poate fi folosit în două moduri: fie pentru calculul direct — dimensionarea sau verificarea unei anumite instalaţii —, fie pentru calculele tabelelor generale ale metodei, cu care se pot calcula ulterior mai simplu oricare alte instalaţii similare.

Articolul de faţă prezintă o privire generală asupra principalelor metode existente pentru calculul iluminatului şi asupra posibilităţilor de aplicare a acestora pe calculatoare. Unele dintre metodele prezentate au fost programate pe calculatoare de autorii referatului sau de alţi autori din diferite ţări, altele oferă încă posibilităţi multiple pentru astfel de aplicaţii.

Se prezintă partea teoretică a metodelor de calcul al iluminatului, iar în anexele lucrării sînt date exemple de programare pe computere a metodelor principale, modelele matematice respective, algoritmii şi schemele logice (bloc) de calcul, întocmirea programelor în limbaj FORTRAN, datele iniţiale şi rezultatele obţinute de la maşină pentru diferitele exemple luate.

## 1. Calculul iluminatului direct (respectiv al componentei directe)

### 1.1 *Iluminatul într-un punct P*

Iluminatul produs de lumina primită de $P$ de la una sau mai multe surse se calculează cu metoda clasică „punct cu punct".

1.1.1. *Sursa punctuală.* Produce într-un punct $P$ din planul $Q$ o iluminare a cărei valoare este exprimată de formula generală

$$E_{QP} = \frac{I_\alpha \cos\beta}{l^2} = \frac{I_\alpha \cos\alpha \cos\beta}{h^2}, \quad (1)$$

în care $I_\alpha$ este intensitatea sursei în direcţia lui $P$, iar celelalte sînt mărimi geometrice.

În cazul mai multor surse punctiforme simetrice iluminarea produsă de acestea în punctul $P$ este dată de relaţia:*)

$$E_{QP} = \sum_{i=1}^{n} \frac{I_\alpha \cos^3\alpha}{h^2}\left(\frac{p}{h}\sin\theta + \cos\theta\right). \quad (2)$$

În anexa 1 este ilustrat modul de calcul pe un calculator modern (IRIS-50) al unei insta-

*) Comunicarea de faţă prezintă un rezumat al unei lucrări de cercetare mai ample, care cuprinde şi anexe cu rezolvarea concretă a unor probleme de iluminat, inclusiv programele calculelor pe computere în limbajul FORTRAN şi rezultatele obţinute. În lipsa spaţiului necesar pentru publicare, autorii ţin la dispoziţia celor interesaţi întreg acest material pentru consultare sau multiplicare (inclusiv anexele).

**) Vasile Prisăcaru este profesor la Institutul politehnic din Iaşi; Octav Stavrescu lucrează la ICENERG; Claudia Botez este asistent la Institutul politehnic din Iaşi; Grigore D. Popescu lucrează la Institutul de electronică şi tehnică de calcul.

***) De asemenea, folosirea calculatorului are sens numai cînd efectuează calcule ce se repetă ciclic sau însuşi programul poate fi folosit de un număr mare de ori.

*) În care $\theta$ este unghiul planului $Q$ (care conţine punctul $P$), cu planul orizontal.

lații de acest fel, programarea fiind făcută în FORTRAN IV.

Formula poate folosi atît pentru calculul iluminatului exterior, cît și al componentei directe a iluminatului interior.

Pentru cazul surselor punctiforme asimetrice, iluminarea orizontală în punctul $P$ este exprimată de formula

$$E_{HP} = \sum_{i=1}^{n} I_{\alpha\gamma} \frac{h}{d^3} \cos^3 \alpha, \quad (3)$$

în care intensitatea luminoasă $I_{\alpha\gamma}$ depinde și de unghiul azimut $\gamma$.

1.1.2. *Sursele liniare*. O sursă rectilinie produce într-un punct $P$ o iluminare orizontală dată de expresia generală

$$E_{\Phi P} = \frac{I_m}{lh} \cos\theta \cos\varphi \int f(\alpha) \cos\alpha \, d\alpha, \quad (4)$$

în care $\theta$ și $\varphi$ sînt unghiurile sursei față de planul lui $P$, iar „factorul de poziție" de sub integrală depinde de curba de distribuție a sursei $f(\alpha) = \frac{I_\alpha}{I_m}$ și de „unghiul de poziție" $\alpha$.

Pentru cazul particular al surselor cilindrice (tuburi fluorescente) și cu distribuția lambertiană, iluminarea orizontală în $P$ este

$$E_{HP} = \frac{I_0}{2h} \cos^2\gamma \left( \frac{LH}{L^2 + H^2} + \operatorname{arc\,tg} \frac{L}{H} \right) =$$

$$= \frac{I_0}{2H} \cos\gamma \left( \frac{LH}{L^2 + H^2} + \operatorname{arc\,tg} \frac{L}{H} \right), \quad (5)$$

iar în cazul mai multor fîșii luminoase (plate)

$$E_{HP} = \sum_{i=1}^{n} \frac{I_0}{2h} \cos^3\gamma \left( \frac{LH}{L^2 + H^2} + \operatorname{arc\,tg} \frac{L}{H} \right) =$$

$$= \sum_{i=1}^{n} \frac{I_0}{2H} \cos^2\gamma \left( \frac{LH}{L^2 + H^2} + \operatorname{arc\,tg} \frac{L}{H} \right). \quad (6)$$

În anexa 2 este arătat modul de determinare cu ajutorul calculatorului electronic cifric al iluminării într-o încăpere prevăzută cu fîșii luminoase pe plafon.

Sursele liniare curbe (circulare, eliptice) produc într-un punct $P$ iluminarea orizontală dată de relația

$$E_{HP} = 2LhR \int_0^{\pi} \frac{\sqrt{(R - x\cos\alpha)^2 + h^2}}{(R^2 + x^2 - 2Rx\cos\alpha + h^2)^2} \, d\alpha, \quad (7)$$

în care $L$ este luminanța liniară a sursei, iar celelalte simboluri exprimă mărimi geometrice.

În anexa 3 este dat modul de calcul pe computer al iluminării orizontale într-un punct pe pardoseala încăperii iluminată cu mai multe surse liniare circulare concentrice, calcul din care se poate studia variația iluminării cu numărul și mărimea acestor surse, ceea ce permite optimizarea acestor parametri ai instalației.

1.1.3. *Sursele plane* produc într-un punct $P$ o iluminare exprimată de formula generală

$$E_P = B \iint \frac{dS \cos\alpha \cos\beta}{MP^2} = \frac{R}{H} \iint \frac{dS \cos\alpha \cos\beta}{MP^2}, \quad (8)$$

în care $B$ este luminanța sursei, $R$ radianța, iar celelalte simboluri sînt mărimi geometrice. Panourile luminoase pot fi dreptunghiulare, circulare (discuri) etc.

În cazul panourilor luminoase dreptunghiulare verticale iluminarea este

$$E_{HP} = \iint \frac{B dy dz \cos\alpha \cos\beta}{MP^2} =$$

$$= \frac{B}{2} (\beta_0 - \beta_1 \cos\gamma) = \frac{R}{2\pi} (\beta_0 - \beta_1 \cos\gamma), \quad (9)$$

iar la panourile dreptunghiulare orizontale

$$E_{HP} = \iint \frac{B dx dy \cos^2\alpha}{MP^2} =$$

$$= \frac{B}{2} (\beta_1 \sin\alpha_1 + \beta_2 \sin\alpha_2). \quad (10)$$

În anexa 4 se descriu programarea și calculul pe mașina IRIS-50 a variației iluminării cu mărimea panourilor luminoase dreptunghiulare verticale, respectiv întocmirea sau verificarea rapidă a diagramelor Ratner cu ajutorul calculului automatizat, precum și optimizarea instalațiilor prin alegerea mărimii optime a panourilor. Pentru panourile luminoase circulare (discuri) iluminarea este dată de formula

$$E_{HP} = \pi B h^2 \int_{x=0}^{r} \frac{2x \, dx}{(x^2 + h^2)^2} =$$

$$= \frac{\pi B}{2} (1 - \cos\psi), \quad (11)$$

iar pentru cele excentrice

$$E_{HP} = \frac{Bh^2}{MP^4} \iint x dx \, d\varphi =$$

$$= \frac{\pi B}{2} \left[ 1 - \frac{1 - \frac{r^2}{h^2} \cos^2\alpha_0}{\sqrt{\left(1 - \frac{r^2}{h^2} \cos^2\alpha_0\right)^2 - \frac{r^2}{h^2} \sin^2 2\alpha_0}} \right], \quad (12)$$

formule care se pot programa pe orice calculatoare.

1.1.4. *Sursele volumetrice* (corpuri de iluminat mari) se reduc din punctul de vedere al calculelor fotometrice la surse plane, deoarece din oricare punct $P$ sursa volumetrică nu poate fi văzută decît în două dimensiuni, a treia fiind în direcţia $MP$.

1.2. *Iluminatul direct pe o suprafaţă S*

Se calculează prin intermediul fluxului luminos primit de aria $S$ de la surse; fluxul odată determinat se divide prin aria $S$, rezultînd iluminarea suprafeţei. Calculul fluxului se efectuează prin „metoda zonală" — a coeficienţilor unghiulari —, după cum urmează:

1.2.1. *În cazul surselor punctuale* această metodă are două variante:

— metoda unghiurilor solide egale, după care fluxul luminos este

$$\Phi = \frac{4\pi}{n} \sum_{1}^{n} I_m = 4\pi I_m; \qquad (13)$$

— metoda unghiurilor plane egale, cu:

$$\Phi = 2\pi \sum_{k=1}^{n} I_k \left[\cos(k-1)\frac{\pi}{n} - \cos k\frac{\pi}{n}\right], \qquad (14)$$

relaţii de integrare numerică uşor de programat pe calculator.

1.2.2. *Pentru sursele liniare* fluxul trimis pe o suprafaţă se calculează cu expresia generală

$$F_{S||} = \sum_{k=1}^{n} f_k \cdot I_k, \qquad (15)$$

în care coeficienţii de flux $f_k$ sînt relaţii de forma

$$f = \frac{1}{I_m} \Delta\theta \int_0^L \left[\int_{-\mathrm{tg}^{-1}\frac{l}{h}}^{\mathrm{tg}^{-1}\frac{L-l}{h}} \cos^2\alpha \, \mathrm{d}\alpha\right] \mathrm{d}l, \qquad (16)$$

care au fost programate pe computere, calculîndu-se valorile lor pentru diferite curbe de distribuţie ale surselor rectilinii.

1.2.3. *Pentru sursele plane*, iluminarea directă pe o suprafaţă $S$ se determină integrînd numeric cu ajutorul calculatorului dubla însumare

$$E_{med} = \sum_{1}^{m} \left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n} E_{P_k}\right), \qquad (17)$$

unde $m$ este numărul surselor (panouri luminoase) ce iluminează aria $S$, iar $n$ este numărul punctelor caracteristice $P_k$ în care se determină iluminarea $E_{P_k}$. Expresia lui $E_{P_k}$ este dată de formulele (9) pînă la (12), după caz. Calculul mediei aritmetice dintre paranteze se efectuează automat, după un program propriu al calculatorului.

**2. Calculul iluminatului indirect (respectiv al componentei indirecte)**

În cazul obişnuit al iluminatului interior, adică al încăperilor cu suprafeţele de culori deschise, cînd intervin reflexiile repetate pe aceste suprafeţe, calculul iluminărilor din încăpere se bazează pe *metoda interflexiilor*. Aceasta are diferite variante, care se grupează în două categorii principale, după cum se consideră uniforme fluxurile iniţiale (respectiv iluminările directe) sau fluxurile finale (iluminările totale, după interflexii). Din prima categorie face parte metoda interflexiilor bazată pe o ecuaţie integrală aproximată prin dezvoltarea în serie de exponenţiale (P. Moon 1941), iar în ultima categorie se încadrează metoda interflexiilor bazată pe sisteme de ecuaţii liniare (Z. Yamauti 1926, J. Dourgnon 1928). În cele ce urmează se expune varianta a doua, care dă rezultate mai exacte şi se pretează mai uşor rezolvării pe computere.

2.1. *Iluminatul indirect pe o suprafaţă (a încăperii)*

2.1.1. *În cazul particular, clasic, al distribuţiei uniforme* a fluxului (surse simetrice şi distribuite uniform în încăpere), fluxul interreflectat de suprafeţele din încăpere este exprimat de un sistem de ecuaţii liniare avînd forma concentrată:

$$\Phi_i = \Phi_i' + \sum_{1j}^{n} a_{ij}\Phi_j, \qquad (18)$$

în care $\Phi$ sînt fluxurile iniţiale, $\Phi'$ — fluxurile finale, $a_{ij}$ — coeficienţii instalaţiei de iluminat (funcţie de caracteristicile surselor şi ale încăperii), iar $n$ — numărul de ecuaţii, respectiv de date iniţiale şi de necunoscute.

Sistemul (18), care se mai poate scrie sub formă matricială

$$[\Phi_i] = [f_{ij}]^{-1} \cdot [\gamma_i \Phi_i'] \qquad (18')$$

şi care se foloseşte la proiectarea (dimensionarea) instalaţiilor de iluminat, exprimă fluxurile finale în funcţie de cele directe (Dourgnon); pentru verificarea sau optimizarea instalaţiilor el poate fi însă aranjat şi sub forma în care exprimă fluxurile iniţiale în funcţie de cele finale (Waldram):

$$\Phi_i' = \Phi_i - \sum_{1j}^{n} a_{ij}\Phi_j, \qquad (19)$$

sau, matricial

$$[\gamma_i \Phi_i'] = [f_{ij}] \cdot [\Phi_i]. \qquad (19')$$

Rezolvarea rapidă a acestor sisteme de ecuaţii se efectuează prin inversarea matricei coeficienţilor, cu ajutorul calculatoarelor cifrice.

*Cazuri particulare*

a) Pentru încăperile cu toate suprafeţele (1 — tavan, 2 — pereţi, 3 — podea) de culori deschise şi cu reflectanţe diferite ($\rho_1 \neq \rho_2 \neq \rho_3 \neq 0$),

sistemul (18) se reduce la trei ecuaţii cu trei necunoscute, exprimînd fluxurile interreflectate

$$\Phi_1 = \frac{A_{11}}{D}\Phi_1' + \frac{A_{12}}{D}\Phi_2' + \frac{A_{13}}{D}\Phi_3'$$
$$\Phi_2 = \frac{A_{21}}{D}\Phi_1' + \frac{A_{22}}{D}\Phi_2' + \frac{A_{23}}{D}\Phi_3' \quad (20)$$
$$\Phi_3 = \frac{A_{31}}{D}\Phi_1' + \frac{A_{32}}{D}\Phi_2' + \frac{A_{33}}{D}\Phi_3'.$$

Sistemul de ecuaţii (20) a fost rezolvat de diferiţi autori, care au calculat pe maşini valorile coeficienţilor pentru game largi de caracteristici ale surselor şi încăperilor, valori care sînt date în literatura de specialitate. Există de asemenea o variantă americană a metodei interflexiilor, *„metoda cavităţii zonale"*, în care suprafeţele încăperii sînt divizate în trei cavităţi, cu caracteristici diferite : cavitatea tavanului (deasupra nivelului surselor), a podelei (sub planul util) şi a pereţilor (dintre primele două cavităţi).

b) Pentru încăperile cele mai obişnuite, cu tavan şi pereţi de culori deschise apropiate, adică

$$\rho_1 \approx \rho_2 \approx \rho_m = \frac{\rho_1 S_1 + \rho_2 S_2}{S_1 + S_2}$$

şi pardoseală de culoare închisă ($\rho_3 = 0$), sistemul (18) se reduce la două ecuaţii

$$\Phi_1 = \frac{1}{1 - \rho_m(1-\nu)}\Phi_1'$$
$$\Phi_2 = \frac{\rho_m \nu}{1 - \rho_m(1-\nu)}\Phi_1' + \Phi_2', \quad (21)$$

în care „coeficientul de utilizare"

$$\nu = u_{12} = \frac{S_3}{S_1 + S_2}$$

reprezintă partea din fluxul lămpilor reflectat prima oară de tavan şi pereţi.

c) Pentru cazul cel mai simplu, al distribuţiei uniforme, cînd se urmăreşte o singură necunoscută (fluxul final pe planul util), acesta se calculează prin *„metoda coeficientului de utilizare"*, cu formula $\Phi = u\Phi'$ în care valorile coeficientului de utilizare $u$ au fost determinate experimental, prin măsurători, pentru diferite surse şi încăperi şi apoi tabelat.

2.1.2. *În cazul general, al distribuţiei neuniforme* a fluxului (surse simetrice dar distribuite neuniform în încăpere), o metodă standardizată recent în Franţa permite calculul fluxurilor directe cu ajutorul formulelor următoare :

— pe tavan $\Phi_t' = \eta\Phi_l(1-\varphi)(IR) = \eta\Phi_l\psi_1 = \Phi_{\sqcap}(IR)$

— pe planul util $\Phi_u = \eta\Phi_l\varphi(DR) = \eta\Phi_l\psi_4 = \Phi_{\sqcup}(DR)$ (22)

şi al fluxurilor totale (finale) cu formulele :

$$\Phi_t = u_1\Phi_l;\ \Phi_f = \Phi_p = u_3\Phi_l;\ \Phi_u = u_4\Phi_l, \quad (23)$$

în care

$\Phi_l, \Phi_f, \Phi_u, \Phi_1, \Phi_{\sqcap}, \Phi_{\sqcup}$, $\eta$ şi $\varphi$ sînt caracteristicile surselor ;

$(DR)$ şi $(IR)$ — coeficienţii instalaţiei, dependenţi de aşezarea surselor ;

$u_1, u_2, u_3, u_4$ — utilanţele suprafeţelor încăperii, funcţii de $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$ şi $i$, calculate cu ajutorul computerelor şi al unui sistem de ecuaţii similare cu (20), valori care au fost tabelate şi pot servi la calculul oricăror instalaţii.

Dacă sursele distribuite neuniform sînt asimetrice, ele pot fi aproximate ca surse simetrice, fie considerîndu-li-se o curbă de distribuţie simetrică apropiată, fie calculîndu-se o curbă de distribuţie simetrică medie între curbele din diferite planuri verticale trecînd prin sursă.

2.2. *Iluminatul indirect într-un punct* (*interior*)

La instalaţiile de iluminat de calitate superioară este necesar să se cunoască nu numai iluminările medii pe suprafeţele încăperii, ci şi iluminările în anumite puncte caracteristice din interior, ale căror valori sînt normate (de exemplu colţul stîng-spate al catedrei, biroului). Pentru astfel de determinări există trei tipuri de metode.

2.2.1. *Metoda analitică* (*Caracciolo*) rezolvă problema interflexiilor într-un punct — deosebit de complexă în cazul cel mai general — însă numai cu ipoteze simplificatoare, cu rezultate precise doar în cazuri particulare (distribuţie uniformă a iluminărilor) şi cu calcule prea laborioase pentru valoarea lor practică. Astfel, iluminarea totală produsă într-un punct $P_1$ după interflexii între suprafeţele interioare $S$ ale unei încăperi este dată de formula

$$E_j = e_j + \int_S \frac{r_i E_i}{\pi d_{ij}^2}\cos\alpha_{ij}\cdot\cos\alpha_{ji}\,\mathrm{d}S_i, \quad (24)$$

în care $e_j$ este iluminarea directă, $r$ coeficientul de reflexie, iar celelalte — mărimi geometrice.

Cu această formulă şi împărţind suprafaţa încăperii $S$ în $n$ părţi elementare, Caracciolo a ajuns prin integrare la formula cunoscută a interflexiilor

$$\Phi_{ij} = \Phi_j' + \sum_{i=1}^{n} r_i k_{ij}\Phi_{ij}, \quad (25)$$

în care coeficientul unghiular (factorul de formă) $k_{ij}$ are expresia

$$k_{ij} = \frac{1}{S_i}\int_{S_i}\int_{S_j}\frac{\cos\alpha_{ij}\cdot\cos\alpha_{ji}}{\pi d_{ij}^2}\,\mathrm{d}S_i\mathrm{d}S_j. \quad (26)$$

2.2.2. *Metoda interflexiilor în două dimensiuni* (*Venezuela*) permite calculul iluminării în orice punct $P$ din interiorul unui cilindru infinit, de orice secțiune, dar uniformă în lungul lui. Metoda evită dificultățile problemei interflexiilor din cazul general tridimensional și permite calculul iluminatului în cazurile în care metoda tridimensională nu este aplicabilă: încăperi lungi (holuri, tunele, străzi mărginite de ziduri) și pe suprafețe interioare cu iluminarea (resp. $\rho$) neuniformă.

Formula de bază a metodei dă iluminarea produsă într-un punct $P$ de către o fișie luminoasă din lungul unui tunel de lungime infinită și de luminanță $B$:

$$E_p = \frac{B}{2}\int_{i_1}^{i_2}\cos i\,\mathrm{d}i = \frac{B}{2}(\sin i_2 - \sin i_1), \quad (27)$$

în care $(\sin i_2 - \sin i_1) = ab$ este proiecția fișiei luminoase pe podeaua tunelului. Metoda beneficiază deci de o interpretare grafică simplă, care permite rezolvarea cu un șablon, folosirea computerelor devenind inutilă.

2.2.3. *Metodele hibride* folosesc pentru calculul iluminării într-un punct $P$ interior două metode: una pentru calculul componentei directe a iluminării, alta pentru componenta indirectă; apoi componentele însumate dau iluminarea totală în $P$.

Dintre acestea, metoda hibridă publicată în 1967 de unii din autorii prezentului referat preconizează calculul automat al componentei directe prin metoda punct cu punct, iar al componentei indirecte prin metoda interflexiilor în varianta ecuației integrale dezvoltate în serie (Moon).

De exemplu, într-o încăpere iluminată cu șiruri de tuburi fluorescente așezate neuniform, iluminarea totală într-un punct $P$ este suma $E = E_d + E_i$ în care componenta directă se calculează cu expresia

$$E_d = \frac{\Phi_u}{2\pi^2 h}\left(\frac{Lh}{L^2 + h^2} + \operatorname{arctg}\frac{L}{h}\right)\cos i, \quad (28)$$

iar componenta indirectă (interreflectată) cu formula:

$$E_i = \frac{\dfrac{ab[2\rho_p(a+b)h + \rho_t ab]}{ab + 2(a+b)h}\left(1 - \dfrac{\dfrac{k_d}{n}S_u\sum\limits_1^n E_p}{\Phi_a}\right)\eta_a N\Phi_l}{k_d S_u\left[1 - \left(1 - \dfrac{ab}{ab + 2(a+b)h}\right)\dfrac{2\rho_p(a+b)h + \rho_t ab}{ab + 2(a+b)h}\right]}, \quad (29)$$

formule în care simbolurile reprezintă caracteristicile surselor și ale încăperii.

Această metodă are un caracter universal, deoarece se poate aplica în cazurile cele mai generale (distribuție neuniformă, cu corpuri de iluminat nesimetrice, așezate neuniform în încăpere) și oferă un grad de precizie suficient de ridicat. Metoda a fost programată în 1967 pe calculatoare cifrice CIFA 102, iar în prezent este aplicată pentru diverse tipuri de corpuri de iluminat și de aranjamente ale lor, pe calculatoare numerice moderne (IRIS–50).

Anexa 5 ilustrează modul de programare și de calcul prin aplicarea acestei metode pentru proiectarea unei instalații de iluminat a unei clădiri-bloc cu peste 100 de încăperi iluminate în sistemul cu șiruri luminoase paralele cu ferestrele.

Rezultatele numerice date de mașină au fost transpuse în grafice care au evidențiat variația nivelurilor de iluminare în porțiunile caracteristice ale planului de utilizare. Rezultatele permit de asemenea optimizarea acestor curbe de iluminare, prin reglarea caracteristicilor surselor și a aranjamentului lor în încăpere, optimizarea urmărind, evident, curba ideală de variație, aceea a luminii naturale.

În etapa următoare, metoda va fi extinsă pentru calculul componentei indirecte cu ajutorul sistemelor de ecuații liniare, precum și pentru alte tipuri de corpuri de iluminat și alte moduri de aranjare a lor.

Concomitent cu publicarea acestei metode s-au publicat și alte metode hibride, printre care o metodă americană recomandată de autorii ei ca mai simplă, în care:

— componenta directă se calculează prin metoda punct cu punct în varianta grafică (Goodbar), cu ajutorul unui șablon cu curbele izolux ale surselor respective;

— componenta indirectă, prin „metoda diferenței de luminanță în planul infinit" (Roy Jones), în varianta simplificată (Balogh), care dă componenta reflectată direct, cu tabele.

Evident, această metodă hibridă nu necesită calculatoare, fiind ajutată de tabele și grafice.

## Concluzii

Articolul prezintă o idee generală privind aplicarea pe calculatoare a principalelor metode de calcul al iluminatului.

Particularitățile folosirii calculatoarelor electronice în rezolvarea calculelor de iluminat sînt următoarele :

a) Deoarece caracteristica esențială a computerelor este efectuarea rapidă dar costisitoare a unui mare volum de calcule, rezultă că și în domeniul iluminatului sînt indicate pentru aplicarea pe calculatoare numai metodele complexe și cele care necesită precizie înaltă a rezultatelor (în nici un caz metoda coeficientului de utilizare).

b) Calculatorul poate fi folosit atît pentru rezolvarea unei anumite probleme (dimensionarea sau verificarea unei instalații), cît și pentru calculul tabelelor generale ale unei metode, tabele cu care se pot calcula apoi game întregi de instalații similare.

c) Programarea pe calculator a unei probleme de iluminat comportă anumite operații pregătitoare, privind : metoda de rezolvare (modelul matematic), organizarea datelor inițiale și a rezultatelor.

d) Pentru calculul iluminatului interior, majoritatea metodelor publicate pînă în prezent în literatură rezolvă cazul clasic, particular, al distribuției uniforme a fluxului (iluminărilor), respectiv al corpurilor simetrice distribuite uniform în încăpere. Pentru cazurile cele mai generale (asimetrie totală), singurele aplicabile sînt metodele hibride.

Acestea se aplică în practică fie pe computere fie prin alte mijloace (tabele, grafice). Metoda propusă are avantajul universalității și al preciziei, dar dezavantajul costului deocamdată mai ridicat al folosirii calculatoarelor.

(Articol intrat în redacție la 25 august 1972)

# Dezvoltarea tehnicii surselor de lumină. Perspectiva introducerii de noi surse

Ing. C. Irinei *)

Evoluția iluminatului electric este determinată în primul rînd de tehnica surselor de lumină, care în ultimele două decenii îndeosebi a deschis noi posibilități, nebănuite.

În istoria surselor electrice de lumină se disting trei etape principale (fig. 1), după cum urmează :

— etapa lămpii cu incandescență ;
— etapa lămpii fluorescente de joasă presiune ;
— etapa lămpilor cu descărcări în vapori de metal la înaltă presiune.

Lampa cu incandescență își cunoaște începutul încă din secolul trecut, prin lampa lui Edison. Dar eficacitatea luminoasă a acestei lămpi, de numai 2—3 lm/W, era nesatisfăcătoare. S-au investit atunci noi sume pentru cercetarea și introducerea unor materiale superioare. Rezultatele acestor cercetări au fost mai mult decît foarte bune. Prin utilizarea filamentului metalic și în final a filamentului de wolfram trefilat, s-a reușit ca într-o perioadă scurtă eficacitatea luminoasă să crească pînă la peste 10 lm/W.

Mai tîrziu, prin trecerea de la lampa cu vid la lampa umplută cu gaze inerte, a fost posibilă ridicarea regimului termic al lămpii și obținerea unei eficacități de peste 20 lm/W. Conform calculelor, filamentul de wolfram asigură o eficacitate luminoasă maximă de 54 lm/W atunci cînd se găsește la o temperatură vecină punctului său de topire, dar această situație nu poate fi atinsă în practică.

Prin noua lampă cu incandescență cu ciclu regenerativ, a fost posibil să se obțină încă un salt important în ameliorarea eficacității. Făcînd bilanțul energetic al unei asemenea surse luminoase realizată cu filament de wolfram și adaosuri de halogeni s-a constatat că lampa cu incandescență nu poate depăși în practică o

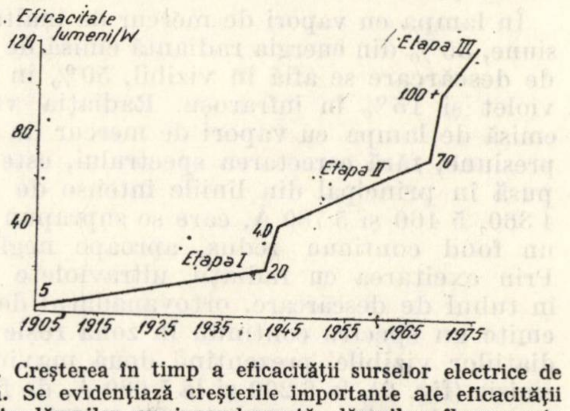



Fig. 1. Creșterea în timp a eficacității surselor electrice de lumină. Se evidențiază creșterile importante ale eficacității datorate lămpilor cu incandescență, lămpilor fluorescente tubulare și lămpilor cu descărcări în gaze și vapori metalici la înaltă presiune.

eficacitate luminoasă de 40 lm/W, aceasta fiind cifra către care tind noile construcții de asemenea surse.

*) Constantin Irinei este șeful serviciului Laboratoare al Uzinei de cinescoape — București.

Noua etapă a lămpii fluorescente tubulare își are începutul în jurul anului 1935, cînd prin combinarea rezultatelor cercetării asupra descărcării în gaze cu cele ale pulberii fluorescente s-a obținut o triplare a randamentului luminos în comparație cu cel al lămpii cu incandescență.

Cercetările s-au îndreptat apoi, în același timp, spre îmbunătățirea luminoforilor și spre suprasolicitarea lămpilor, construindu-se, spre exemplu, o lampă de 100 W la lungimea de 120 cm. Dar mărirea densității de curent peste valoarea optimă a condus la o scădere considerabilă a eficacității luminoase, așa că cercetările în această direcție s-au abandonat.

În ultimii ani s-a făcut apel la numeroase idei noi, elaborîndu-se lămpi sub numele Power-Groove, Very High Output, Super High Output, Power Twist, lămpi cu amalgam etc., care au eficacități luminoase de peste 75 lm/W. De remarcat este faptul că în concepția actuală la lămpile fluorescente nu mai sînt de așteptat creșteri importante ale eficacității luminoase.

Etapa a treia, a lămpilor cu descărcări în vapori de metale la înaltă presiune, avînd eficacități luminoase mai mari de 100 lm/W, care produc lumină „albă" prin mijloace noi, ce n-au stat la dispoziție pînă în prezent, își are începutul în urmă cu mai puțin de două decenii. Cele ce urmează se vor referi mai pe larg la lămpile de înaltă presiune cu vapori metalici, și anume la:

— lămpile de înaltă presiune cu vapori de sodiu;

— lămpile de înaltă presiune cu vapori de mercur și adaosuri de halogenuri metalice.

Înainte de a trece la cele două tipuri moderne de lămpi, se va aminti ultima perfecționare a lămpilor cu vapori de mercur, obținută prin introducerea unui nou luminofor, ortovanadatul de ytriu activat cu europiu.

În lampa cu vapori de mercur de înaltă presiune, 35% din energia radiantă emisă de tubul de descărcare se află în vizibil, 50% în ultraviolet și 15% în infraroșu. Radiația vizibilă emisă de lampa cu vapori de mercur de înaltă presiune, fără corectarea spectrului, este compusă în principal din liniile intense de 4 050, 4 360, 5 460 și 5 780 Å, care se suprapun peste un fond continuu redus, aproape neglijabil. Prin excitarea cu radiații ultraviolete emise în tubul de descărcare, ortovanadatul de ytriu emite un spectru continuu în zona roșie a radiațiilor vizibile, prezentînd două maxime de emisie (fig. 2), la 6 200 și la 7 000 Å, de fiecare parte a benzilor de emisie situate între 6 300 și 6 600 Å ale germanatului de magneziu $Mg_8Ge_2O_{11}F_2$—Mn, luminofor cu care sînt acoperite actualele lămpi cu vapori de mercur tip LVF, ce se produc în țară. Maximul din dreapta al vanadatului de ytriu asigură un efect plăcut în roșu intens, în timp ce vîrful din stînga, fiind mult mai apropiat de lungimea de undă a sensibilității optime a ochiului, nu numai că adaugă luminii un aspect general cald, dar și contribuie la o creștere cu peste 10% a fluxului luminos.

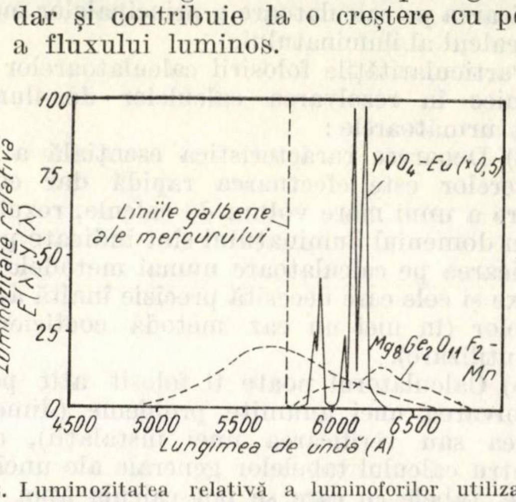



Fig. 2. Luminozitatea relativă a luminoforilor utilizați l acoperirea interioară a lămpilor cu vapori de mercur de înaltă presiune. Ortovanadatul de ytriu prezintă atît randament luminos ridicat, cît și un conținut în radiații roșii mai mare.

Ortovanadatul de ytriu activat cu europiu a făcut posibilă realizarea unei lămpi cu vapori de mercur, complet diferită de oricare dintre precursoarele ei, avînd un colorit suficient de bun pentru a asigura utilizarea ei ca sursă de lumină și pentru iluminatul interior, în afară de utilizările tradiționale pentru străzi și piețele din orașe.

Principalele caracteristici ale noilor lămpi tip LVY cu vapori de mercur la înaltă presiune și spectru corectat cu ortovanadat de ytriu activat cu europiu, puse de curînd în fabricație în R.S. România, se dau în tabelul 1, comparativ cu lămpile tip LVF cu spectru corectat cu fluorogermanat de magneziu.

În presa de specialitate din ultimii ani s-au sacrificat spații mari noilor lămpi de înalt randament luminos destinate iluminatului, lampa cu vapori de sodiu la înaltă presiune și lampa cu halogenuri metalice. Ambele tipuri de surse sînt deja fabricate în multe variante și disponibile pe multe piețe.

Lampa de înaltă presiune cu vapori de sodiu (fig. 3) are o construcție și o funcționare similară cu a lămpii de înaltă presiune cu vapori de mercur.

De mulți ani este cunoscut faptul că o descărcare în vapori de sodiu la o presiune de circa 200 mm Hg ar putea da o lumină cu eficacitate ridicată și compoziție spectrală excelentă. Dificultatea întîmpinată a fost aceea că toate sticlele cunoscute erau atacate rapid de vaporii de sodiu la 700°C, temperatură necesară menținerii unei presiuni convenabile. Problema a fost rezolvată numai odată cu inventarea la GENERAL ELECTRIC (S.U.A.) a tubului de alumină sinterizată, translucid și rezistent la atacul vaporilor de sodiu.

Tabelul 1

| Tipul de lampă | LVY 80 | LVF 80 | LVY 125 | LVF 125 | LVY 250 | LVF 250 | LVY 400 | LVF 400 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Puterea nominală, W | 80 | 80 | 125 | 125 | 250 | 250 | 400 | 400 |
| Flux luminos nominal*), lm | 3 500 | 3 200 | 6 200 | 5 600 | 13 500 | 12 000 | 23 000 | 21 000 |
| Factor de roșu *), % | 14 | 7 | 13,5 | 7 | 12 | 7 | 11,5 | 7 |
| Eficacitatea luminoasă, lm/W | 44 | 40 | 50 | 45 | 54 | 48 | 58 | 52 |
| Lungimea maximă, mm | 156 | 156 | 180 | 180 | 227 | 227 | 292 | 922 |
| Diametrul maxim, mm | 70 | 70 | 75 | 75 | 90 | 90 | 120 | 120 |

*) Valori obținute prin măsurători făcute după 100 de ore de funcționare

Temperatura de culoare a lămpii de înaltă presiune cu vapori de sodiu corespunde temperaturii de 2 100°K a corpului negru. Pentru iluminatul modern, temperatura de culoare de 2 100°K este considerată ca fiind mică. O creștere a temperaturii de culoare se poate totuși obține prin modificarea parametrilor lămpii, în dauna eficacității luminoase.

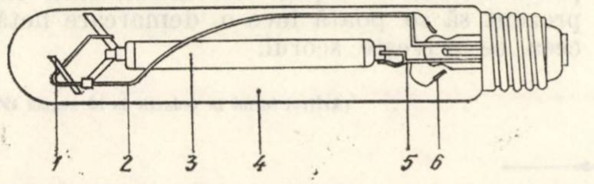



Fig. 3. Construcția lămpii de înaltă presiune cu vapori de sodiu :

*1* — suport de centrare ; *2* — electrod-suport ; *3* — tub de descărcare din alumină translucidă ; *4* — balon exterior cilindric din sticlă dură ; *5* — joncțiune pentru preluarea eforturilor mecanice ; *6* — inele de getter.

Așa cum rezultă din figura 4, pentru o creștere a temperaturii de culoare de 2 100—2 200°K, eficacitatea luminoasă a lămpii trebuie redusă cu 10%.

În prezent cel mai bun compromis între eficacitatea luminoasă și aparența culorilor corespunde temperaturii de culoare de 2 100°K.

Față de lampa cu vapori de sodiu de joasă presiune, trebuie menționat că liniile galbene binecunoscute sînt în întregime suprimate la lampa de înaltă presiune și înlocuite de o bandă care se extinde de la roșu la verde.

Eficacitatea lămpilor de înaltă presiune cu vapori de sodiu depășește cu mult 100 lm/W, în unele construcții obținîndu-se chiar 115 lm/W.

Pentru stabilizarea descărcării se folosesc balasturi normale, a căror construcție nu pune probleme. Deoarece tensiunea de amorsare depășește 250 V, este necesar ca lămpile să fie dotate cu dispozitive speciale de amorsare.

Sînt utilizate atît scheme electronice cu elemente semiconductoare, cît și startere bimetalice montate în anvelopa lămpii sau la exterior.

Lampa cu halogenuri metalice a fost realizată pornind de la ideea că, adăugînd în tubul de descărcare al lămpii cu vapori de mercur de înaltă presiune alți vapori metalici, se poate obține o însemnată creștere a eficacității luminoase, pe lîngă îmbunătățirea distribuției spectrale a luminii emise.

Lampa cu halogenuri metalice are o construcție identică cu aceea a lămpii de înaltă presiune cu vapori de mercur. Tubul de descărcare este redimensionat în noua lampă pentru o încărcare specifică mult mai mare, care să asigure volatilizarea adaosurilor.

Față de lampa cu sodiu, lampa cu halogenuri metalice prezintă o eficacitate de 80—90 lm/W.

În urma cercetărilor întreprinse numărul de adaosuri s-a restrîns la cîteva ioduri : de sodiu, thaliu, galiu și indiu.

Practic, lampa cu ioduri de sodiu, indiu și thaliu a devenit clasică, iar prin alegerea proporțiilor din aceste adaosuri se poate obține o gamă foarte largă de culori.

Datorită prezenței iodurilor în gazul de umplere și pe suprafața electrozilor, amorsarea tubului de descărcare la tensiunea de 220 V nu este posibilă printr-un simplu balast-serie.

Circuitele lămpilor cu halogenuri metalice sînt prevăzute cu dispozitive speciale de amorsare, care scumpesc costul instalației.

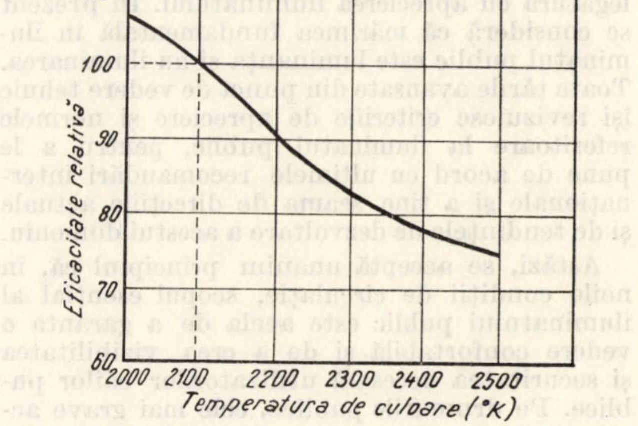



Fig. 4. Relația dintre temperatura de culoare și eficacitatea luminoasă pentru o lampă cu vapori de sodiu de înaltă presiune.

Pentru a avea o mai bună imagine a lămpilor de înaltă presiune cu vapori de sodiu şi a lămpilor cu halogenuri metalice se dau tabelele 2 şi 3.

Tabelul 2 arată luminozitatea relativă în procente pentru cele opt benzi normalizate ale spectrului.

*Tabelul 2*

| Banda | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Lărgimea benzii, Å | 4000–4200 | 4200–4400 | 4400–4600 | 4600–5100 | 5100–5600 | 5600–6100 | 6100–6600 | 6600–7200 |
| Lampa cu sodiu | 0,002 | 0,026 | 0,090 | 2,30 | 11,4 | 72,8 | 13,0 | 0,36 |
| Lampa cu halogenuri metalice | 0,030 | 0,079 | 1,38 | 2,34 | 49,9 | 41,7 | 4,2 | 0,35 |
| Lampa cu vapori de mercur | 0,010 | 0,33 | 0,046 | 0,81 | 42,5 | 46,9 | 8,3 | 1,1 |

*Tabelul 3*

| | Tipul lămpii | | |
|---|---|---|---|
| | Vapori de mercur cu spectru corectat | Halogenuri metalice | Sodiu de înaltă presiune |
| Eficacitatea luminoasă | 55 | 90 | 110 |
| Redarea culorilor | Acceptabilă | Foarte bună | Bună |

**Concluzii**

Cu toate că pînă în prezent cercetările tehnologice întreprinse pentru lămpile de înaltă presiune cu vapori de sodiu şi pentru lămpile cu halogenuri metalice au cunoscut un progres rapid de la un an la altul, nu se poate spune care dintre cele două tipuri va avea şansa să predomine în anii ce urmează.

Această ezitare este o realitate mondială, după cum afirmă majoritatea specialiştilor.

Apărătorii celor două tipuri de surse au obţinut alternativ cîştig de cauză, fără ca în prezent să se poată face o demarcare netă în ceea ce priveşte scorul.

(Articol intrat în redacţie la 25 august 1972)

# Principalele direcţii şi tendinţe în evoluţia iluminatului căilor publice

Ing. I. Palade*)

În domeniul iluminatului public se constată în ultimul timp o evoluţie accentuată a concepţiilor tehnicilor şi metodelor, evoluţie datorată în principal intensificării traficului auto, sporirii continue a vitezelor autovehiculelor şi noilor concepţii urbanistice de renovare şi dezvoltare a oraşelor. În acest domeniu au apărut noi concepţii, noţiuni şi puncte de vedere în legătură cu aprecierea iluminatului. În prezent se consideră că mărimea fundamentală în iluminatul public este luminanţa şi nu iluminarea. Toate ţările avansate din punct de vedere tehnic îşi revizuiesc criteriile de apreciere şi normele referitoare la iluminatul public, pentru a le pune de acord cu ultimele recomandări internaţionale şi a ţine seama de direcţiile actuale şi de tendinţele de dezvoltare a acestui domeniu.

Astăzi, se acceptă unanim principiul că, în noile condiţii de circulaţie, scopul esenţial al iluminatului public este acela de a garanta o vedere confortabilă şi de a crea vizibilitatea şi securitatea necesară utilizatorilor căilor publice. Pe drumurile publice, cele mai grave accidente sînt cele produse în cursul orelor de noapte, datorită lipsei unei bune vizibilităţi. Din statistica accidentelor pe drumurile publice din Italia, privind perioada 1962–1967, rezultă că procentul morţilor, în raport cu accidentele pe căile publice, este mult mai ridicat în cursul orelor de noapte, deşi intensitatea traficului în timpul nopţii este mult mai mică decît în timpul zilei. Pe de altă parte şi statisticile americane relevă faptul că numărul de accidente mortale pe arterele slab luminate este de 5–10 ori mai mare decît numărul de accidente care se produc pe aceleaşi artere în timpul zilei. Din acest motiv, iluminatului public îi revine rolul de a asigura în timpul nopţii un grad de vizibilitate — şi deci de securitate — comparabil cu acela care se poate obţine ziua.

Iluminatul public trebuie să satisfacă atît pe conducătorii auto, cît şi pe pietoni.

În afara rolului său pur funcţional, iluminatul public urban trebuie să pună în valoare elementele arhitecturale.

Aceste scopuri pot fi realizate în mod optim numai printr-o strînsă conlucrare între inginerii specialişti în iluminat şi arhitecţi.

**Considerarea luminanţei ca bază de dimensionare a iluminatului public**

Una dintre principalele tendinţe în iluminatul electric este aceea de înlocuire a valorilor iluminării prin valorile luminanţei, ca bază de dimensionare a instalaţiilor. Problema se pune

*) Ionel Palade este inginer la C.C.M.B.

cu o deosebită acuitate în domeniul iluminatului public, unde aspectul şoselei este determinat de luminanţă, adică de lumina reflectată de suprafaţa şoselei în direcţia observatorului. Prin considerarea numai a iluminării, se neglijează reflexia luminii de către şosea, reflexie influenţată esenţial de proprietăţile optice ale îmbrăcămintii rutiere.

Pentru un observator, plasat în punctul $O$ al unei şosele, care priveşte în direcţia $P$ de pe o îmbrăcăminte rutieră dată (fig. 1), luminanţa poate fi exprimată prin relaţia :

$$L_p = q\,(\alpha,\ \gamma,\ \delta) . E$$

în care

$q$ este coeficientul de luminanţă, funcţie de :
$\alpha$ — unghiul de observaţie ;
$\gamma$ — unghiul de incidenţă al luminii ;
$\delta$ — unghiul observaţiei în raport cu incidenţa ;
$E$ — iluminarea orizontală în punctul $P$.

Dacă şoseaua ar fi un difuzor perfect, luminanţa ar fi aceeaşi în toate direcţiile. În realitate îmbrăcămintea rutieră are proprietăţi fotometrice intermediare între cele ale difuzoarelor şi cele ale oglinzilor.

În studiile şi cercetările efectuate asupra comportamentului optic al îmbrăcăminţilor rutiere în perioada 1964—1967, de Boër şi colaboratorii săi de la laboratoarele Philips — Olanda au propus un mod de reprezentare a coeficienţilor $q$, în toate punctele unei şosele, prin introducerea unui coeficient (parametru) mediu de luminanţă $q_0$, şi au stabilit totodată relaţia între $L_m$ şi $E_m$ prin mijlocirea coeficientului mediu de luminanţă $q_0$. Pentru unghiul de observaţie $\alpha$, de Boër propune pentru simplificarea problemei valoarea medie de 1°.

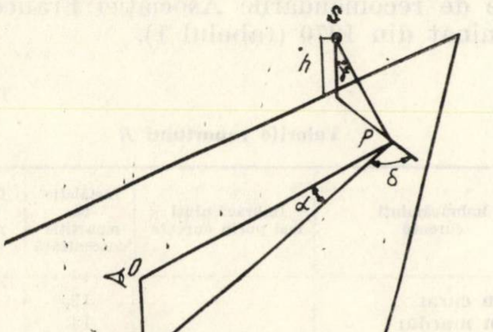


Fig. 1. Unghiurile considerate la determinarea coeficientului de luminanţă în punctul $P$.

De Boër consideră că reprezentarea coeficienţilor $q$ în diferitele puncte ale şoselei (sursa de lumină fixă luminează diferitele puncte ale acesteia, deci unghiurile $\gamma$ şi $\delta$ variază), pentru condiţii de observaţie date, este echivalentă cu reprezentarea coeficienţilor $q$ dată de o suprafaţă elementară a şoselei, iluminată în toate felurile (sursa de lumină variabilă ca poziţie luminează un punct fix al şoselei, deci $\gamma$ şi $\delta$ variază) pentru aceleaşi condiţii de observaţie (fig. 2).

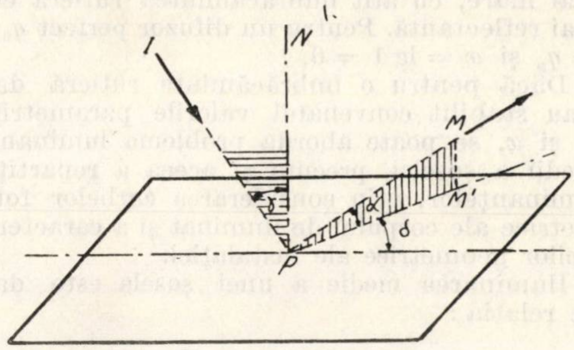


Fig. 2. Parametrii unghiulari consideraţi la măsurarea luminanţei.

Din reprezentarea echivalentă a diferiţilor coeficienţi $q$, în diferitele puncte ale şoselei, se determină un coeficient mediu de luminanţă $q_0$ (parametrul de claritate) al suprafeţei acesteia, în direcţia de observaţie considerată, prin integrarea expresiei $q\mathrm{d}\delta \cdot \mathrm{d}\gamma$ în interiorul unei emisfere generată prin variaţia teoretic posibilă a unghiului $\delta$ de la 0 la 360° şi a unghiului $\gamma$ de la 0 la 90°, în jurul elementului de suprafaţă considerat :

$$\iint q\mathrm{d}\delta \cdot \mathrm{d}\gamma = q_0 \iint \mathrm{d}\delta \cdot \mathrm{d}\gamma$$

În practică, pentru calculul lui $q_0$ ne putem mulţumi cu integrarea în interiorul unui unghi solid (fig. 3), care cuprinde cu prisosinţă toate direcţiile posibile în iluminatul public. De Boër a stabilit dimensiunile acestui unghi solid, în funcţie de înălţimea punctului luminos, determinînd astfel limitele integrării.

Pentru caracterizarea comportamentului optic al îmbrăcăminţii rutiere de Boër introduce şi un al doilea parametru, parametrul $x$ de reflexie (specularitate).

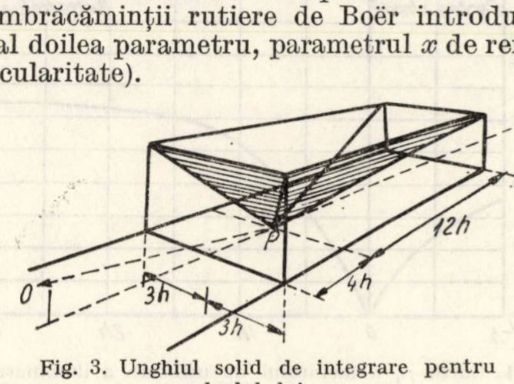



Fig. 3. Unghiul solid de integrare pentru calculul lui $q_0$.

Pentru o anumită direcţie $\gamma$, $\delta$, parametrul $x$ este dat de relaţia :

$$x = \lg \frac{q_0}{q_p},$$

unde $q_p$ este valoarea aferentă direcţiei incidente normale a luminii, aproximativ egală cu valoarea minimă $q$. Cu cît raportul $\frac{q_0}{q_p}$ este mai mare, cu atît îmbrăcămintea rutieră este mai reflectantă. Pentru un difuzor perfect $q_0 = q_p$ şi $x = \lg 1 = 0$.

Dacă pentru o îmbrăcăminte rutieră dată s-au stabilit convenabil valorile parametrilor $q_0$ şi $x$, se poate aborda problema luminanţei medii a şoselei, precum şi aceea a repartiţiei luminanţelor, prin considerarea curbelor fotometrice ale corpului de iluminat şi a caracteristicilor geometrice ale instalaţiei.

Iluminarea medie a unei şosele este dată de relaţia :

$$E_{med} = (\eta_1 + \eta_2)\frac{\Phi \cdot \nu}{l \cdot e}$$

în care

- $\Phi$ este fluxul luminos al surselor corespunzînd unui interval ;
- $e$ — intervalul dintre două suporturi ;
- $l$ — lărgimea şoselei ;
- $\nu$ — factorul de depreciere ;
- $\eta_1$ — factorul de utilizare corespunzător fluxului dirijat spre şosea ;
- $\eta_2$ — factorul de utilizare corespunzător fluxului dirijat spre spatele corpului de iluminat, spre trotuar.

În general, pentru o şosea dată, factorul de utilizare $\eta$ al unui corp de iluminat se defineşte ca raportul dintre fluxul luminos care atinge şoseaua şi cel emis de sursa luminoasă. Acest factor este funcţie de lărgimea benzilor situate de o parte şi de alta a liniei punctelor luminoase. În figura 4, curbele $\eta$ au fost trasate luîndu-se în abscise distanţele de la această linie.

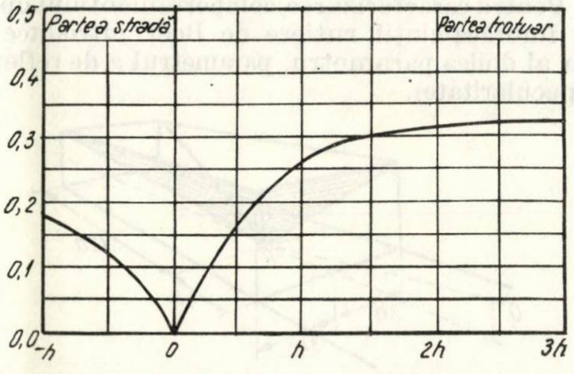



Fig. 4. Curba $\eta$ a factorului de utilizare a iluminărilor.

Prin analogie, de Boër propune pentru luminanţa medie $L_m$ următoarea relaţie :

$$L_m = (\tau_1 + \tau_2) \cdot q_0 \cdot \frac{\Phi \cdot \nu}{l \cdot e},$$

$\tau$ fiind factorul de utilizare a luminanţelor. Pe baza acestei formule se pot stabili curbele factorului de utilizare a luminanţelor, de o parte şi de alta a liniei surselor luminoase, avînd aceeaşi alură ca şi curbele factorului de utilizare a iluminărilor. Aceste curbe variază cu $q_0$ şi $x$ ; la valori mai mari ale parametrului $x$, alura lor este mai puţin ascendentă. Ordonatele acestor curbe variază şi cu poziţia observatorului, care poate fi sub linia punctelor luminoase, la dreapta sau la stînga acesteia.

Cu ajutorul curbelor $\tau$, se pot modifica fluxul $\Phi$ şi distanţa între suporturi $e$, pentru a obţine o luminanţă medie determinată.

Pentru a trece de la luminanţa medie la iluminarea medie este necesară cunoaşterea raportului :

$$R = \frac{E_m}{L_m} = \frac{\eta_1 + \eta_2}{\tau_1 + \tau_2} \cdot \frac{1}{q_0} = \frac{R'}{q_0}\left[\frac{\text{lx}}{\text{cd/m}^2}\right]$$

S-a constatat că $R'$ depinde (liniar) de $x$ şi nu de claritatea îmbrăcăminţii $q_0$. Pe baza relaţiei $R = \frac{R'}{q_0}$ se poate evalua raportul $R$, măsurînd parametrii $q_0$ şi $x$ ai îmbrăcăminţii rutiere şi utilizînd curbele factorilor de utilizare $\eta$ şi $\tau$.

Dacă pentru o instalaţie anumită şi un anumit tip de corp de iluminat s-a determinat raportul $R$, se calculează fluxul necesar şi se stabileşte geometria instalaţiei, care permit să se obţină o iluminare medie *determinată*.

În cazul în care nu s-au făcut măsurători de luminanţă şi deci $R$ nu este cunoscut, pot fi folosite — cu titlu orientativ — fie valorile acestui raport date de recomandările C.I.E. din 1965, fie cele experimentale, mai complete, date de recomandările Asociaţiei Franceze de Iluminat din 1970 (tabelul 1).

*Tabelul 1*

**Valorile raportului $R$**

| Îmbrăcăminţi curente | Îmbrăcăminţi mai puţin curente | Instalaţie cu repartiţie concentrată | Instalaţie cu repartiţie medie |
|---|---|---|---|
| Beton curat | | 12 | 8 |
| Beton murdar | | 14 | 10 |
| | Îmbrăcăminţi luminoase | 14 | 10 |
| Îmbrăcăminţi medii | | 19 | 14 |
| | Îmbrăcăminţi întunecate | 24 | 18 |
| | Pavaje | 18 | 13 |

Valorile propuse pentru raportul $R$ permit să se ţină seama de realitate mult mai fidel decît s-ar putea face prin utilizarea unei iluminări unice, presupusă valabilă pentru orice tip de îmbrăcăminte rutieră. Raportul $R$ depinde

de caracteristicile îmbrăcăminţii rutiere, de tipul de îmbrăcăminte, de materialele componente, starea de uzură, umiditate, curăţenie, planeitatea suprafeţei etc. Din punctul de vedere al proprietăţilor optice, îmbrăcăminţile rutiere prezintă o mare diversitate.

Din tabelul 1 se observă că pentru a obţine aceeaşi luminanţă, fluxul luminos necesar în cazul unei îmbrăcăminţi rutiere clare (beton curat) reprezintă circa 50 % din fluxul luminos necesar în cazul unei îmbrăcăminţi întunecate. Puterile instalate ale surselor de lumină şi consumul de energie electrică se reduc în aceeaşi măsură.

Specialiştii în iluminat consideră că în stadiul actual, de cunoaştere insuficientă a caracteristicilor fotometrice foarte variabile ale îmbrăcăminţilor rutiere, nu se poate adopta o metodă de calcul al iluminatului public bazată pe luminanţă. Metodele de elaborare a studiilor de iluminat public se vor baza în continuare pe calculul iluminărilor, plecîndu-se de la *o luminanţă medie dorită,* care constituie însă numai un obiectiv de atins, fără a interveni efectiv în calculul iluminatului.

**Rolul îmbrăcăminţilor rutiere în iluminatul căilor publice**

Luminanţa şoselei este funcţie de iluminarea ei şi de proprietăţile optice ale îmbrăcăminţii, care depind — printre altele — şi de culoarea acesteia.

Îmbrăcăminţile de culoare întunecată prezintă dezavantajul că — îndeosebi noaptea, pe timp urît — fac dificilă percepţia şoselei, a bordurilor sale şi a diverselor obstacole. Pe măsură ce culoarea îmbrăcăminţii variază de la întunecat la gri închis sau alb, luminanţa medie a acesteia creşte, oferind un bun contrast cu obstacolele, percepute de conducătorul auto ca siluete întunecate pe un fond luminos, realizîndu-se astfel o bună vizibilitate a obstacolelor pe şosea. În afară de aceasta şoselele de culoare deschisă asigură şi un bun confort vizual.

Utilizînd îmbrăcăminţi în diferite tonuri, se poate diversifica aspectul diferitelor benzi de circulaţie de pe o şosea şi se pot marca racordurile şi punctele lor de ieşire, contribuind astfel la completarea informaţiei conducătorului auto.

Este foarte greu să se găsească în stare naturală agregate de culoare deschisă, durabile şi care să-şi poată păstra timp îndelungat culoarea. De cîţiva ani în unele ţări se fabrică în condiţii economice — prin topirea nisipurilor de cuarţ — *agregate minerale sintetice,* de bună calitate, de culoare alb-lăptos, în granule de 2—15 mm, care se folosesc la turnarea îmbrăcăminţilor bituminoase de uzură. Acest material are o mare rezistenţă de uzură la temperaturi ridicate şi la acţiunea amestecurilor sărate; suprafaţa rugoasă a granulelor asigură o bună aderenţă cu lianţii bituminoşi şi suprimă reflexiile jenante. Materialul are un factor de reflexie a luminii de 90,5 %.

În majoritatea ţărilor avansate din punct de vedere tehnic există porţiuni importante de şosele (totalizînd sute de kilometri) acoperite cu astfel de îmbrăcăminţi. Se constată o tendinţă de generalizare progresivă a acestei noi tehnici.

**Reconsiderarea criteriilor de calitate a iluminatului public**

Reconsiderarea scopurilor iluminatului public, precum şi adoptarea noţiunii de luminanţă ca bază de calcul al acestui iluminat au modificat esenţial criteriile de apreciere a instalaţiilor de iluminat public. S-au stabilit noi criterii de calitate în raport cu scopurile esenţiale ale instalaţiilor de iluminat şi cu noua mărime fundamentală adoptată în iluminatul public. Aceste criterii sînt diferenţiate după clasele de iluminat (clasele de drumuri).

În cele ce urmează se prezintă criteriile de calitate propuse de recomandările AFE.

*a*) Pentru iluminatul general al şoselelor şi autostrăzilor, care trebuie să permită conducătorului auto să vadă şoseaua, limitele sale, alte vehicule şi pietonii de pe şosea, se propun următoarele criterii de calitate:

— un nivel de luminanţă ridicat;

— o bună uniformitate a luminanţelor;

— o limitare severă a orbirii;

— o astfel de dispoziţie a surselor luminoase, încît automobiliştii să nu poată comite vreo eroare faţă de traseul urmat.

*b*) Iluminatul urban trebuie să permită conducătorului auto să vadă pietonii, bordurile trotuarelor, intersecţiile şi diversele obstacole; trebuie să permită pietonilor să circule pe trotuare şi să traverseze, fără pericol, străzile în dreptul pasajelor de nivel pietonale.

*c*) Pentru străzile urbane importante criteriile sînt aceleaşi ca pentru şosele şi autostrăzi, iar pentru cele secundare se propun aceleaşi criterii, însă mai puţin riguroase.

*d*) În cazul arterelor de legătură, iluminatul trebuie să permită conducătorului auto să vadă, la distanţă suficientă, traseul căii, intersecţiile şi virajele; pentru aceasta este suficientă amplasarea judicioasă a cîtorva surse de lumină.

Normele sovietice din 1964 prevăd pentru iluminatul public aproximativ aceleaşi criterii de calitate: nivelul luminanţei, uniformitatea luminanţelor şi limitarea efectului de orbire.

*Nivelurile şi uniformitatea luminanţelor*

Recomandările C.I.E. [9] stabilesc valorile nivelului mediu de luminanţă în funcţie de importanţa căii. Aceste valori au fost reluate şi de recomandările AFE din 1970.

În cazul unei îmbrăcăminţi rutiere în stare uscată, valorile recomandate ale luminanţei medii, pentru diferitele clase de iluminat, sînt următoarele :

— pentru şosele luminanţa poate fi de 1—2 cd/m², după importanţa acesteia ;

— pentru autostrăzi este de 2 cd/m² ;

— pentru străzile urbane importante se pot alege 2 cd/m² sau niveluri şi mai ridicate, dacă condiţiile exterioare (prezenţa vitrinelor luminate, traficul foarte intens etc.) justifică aceasta ;

— pentru străzile urbane secundare se poate alege 1 cd/m².

În normele sovietice, valorile recomandate ale nivelului de luminanţă în iluminatul urban depind de intensitatea traficului, variind de la 0,1 cd/m², pentru o circulaţie de 50—200 de vehicule pe oră, pînă la 1 cd/m², pentru un trafic mai mare de 2 000 de vehicule pe oră. Un corp de iluminat produce pe suprafaţa şoselei o pată luminoasă, denumită ,,pată de luminanţă'' sau ,,pată în T'', deoarece are o formă apropiată de cea a literei T. Coada acestui T este dirijată spre observator. O suprapunere corectă a petelor de luminanţă, printr-o alegere potrivită a corpurilor de iluminat şi o amplasare raţională a acestora, face ca aceste pete să fie imperceptibile pe o şosea uscată. Se obţine astfel o bună uniformitate a luminanţelor. Dacă şoseaua este umedă, petele de luminanţă sînt perceptibile.

Diferitele recomandări stabilesc valorile factorilor de uniformitate în funcţie de importanţa căii. Astfel, recomandările AFE stabilesc următoarele valori :

— pentru iluminatul general al unei şosele sau autostrăzi :

$$\frac{L_{min}}{L_{med}} \geqslant 0{,}4 \text{ sau } \frac{L_{min}}{L_{max}} \geqslant 0{,}25$$

În cazul iluminatului urban, pe străzile importante, factorul de uniformitate al luminanţelor va trebui să fie mai mare de 0,4, iar pe străzile secundare între 0,25 şi 0,4.

*Efectul de orbire*

Dacă luminanţa cîmpului vizual nu este uniformă, datorită apariţiei în cîmpul vizual a unui obiect strălucitor, ochiul se adaptează la un nivel mai înalt de luminanţă, micile diferenţe de luminanţă nu mai pot fi percepute (orbire fiziologică) sau pot fi percepute cu eforturi şi prin aceasta confortul vizual are de suferit, ducînd la oboseala ochiului (orbire psihologică). Ambele feluri de orbire aduc prejudicii securităţii utilizatorilor căilor publice.

Cauza principală a orbirii o constituie luminanţa excesivă a corpului de iluminat. Pot interveni şi alţi factori de orbire, ca de exemplu prezenţa în cîmpul vizual a unor suprafeţe mari, cu factori de reflexie ridicaţi : vitrine luminate, reclame luminoase etc. Pentru limitarea orbirii este necesară în primul rînd limitarea intensităţii luminoase a corpului de iluminat în direcţia de observaţie (apropiată de orizontală). Prin mărirea luminanţei fondului (totalitatea cîmpului vizual), pe care se detaşează corpul de iluminat perturbator, efectul de orbire scade. Se va ţine seama şi de faptul că orbirea descreşte pe măsură ce poziţia corpului de iluminat se depărtează de direcţia privirii ; suspendarea corpurilor de iluminat la înălţimi mai mari constituie un mijloc de limitare a efectului de orbire.

*Ghidajul vizual*

În interesul securităţii circulaţiei, conducătorul auto trebuie să primească în timp util toate informaţiile privind itinerarul său, respectiv şoseaua, direcţia acesteia, razele de curbură, amplasarea precisă a bordurilor şoselei, diversele obstacole fixe sau mobile întîlnite în cale.

Cu cît viteza autovehiculului este mai mare, cu atît informarea conducătorului auto trebuie să acopere o porţiune mai mare de şosea, înaintea sa.

Problema ghidajului vizual se rezolvă cu ajutorul surselor luminoase judicios plasate, al luminanţei îmbrăcăminţii şi al contrastelor de luminanţă între culorile îmbrăcăminţilor diferitelor benzi de circulaţie, utilizînd concomitent şi alte mijloace de semnalizare a traficului.

*Vizibilitatea şoselei, a vecinătăţilor sale şi a obstacolelor*

În timpul zilei vederea este optimală, nu numai pentru că nivelul de luminare este ridicat, ci şi pentru faptul că vederea foveală şi vederea extrafoveală (periferică) se adaptează aproximativ la acelaşi nivel de luminanţă, cîmpul vizual general fiind unitar. În cursul zilei, pe o arteră de circulaţie, valorile diferitelor luminanţe din cîmpul vizual se găsesc aproximativ în raportul 1/20.

În cursul nopţii, pe lumină artificială, cînd luminanţa cîmpului vizual este neuniformă, vederea foveală trebuie să se adapteze la un nivel de luminanţă de circa 2—3 cd/m², în timp ce vederea periferică este solicitată să se adapteze la un nivel de luminanţă de circa o sută de ori mai mic. O iluminare relativ redusă a vecinătăţilor (care se poate realiza şi printr-o iluminare bilaterală a şoselei) reduce foarte mult raportul dintre luminanţa medie a şoselei şi cea a vecinătăţilor şi solicită mai puţin organul vizual, îmbunătăţind condiţiile de vedere.

Pentru a avea o bună vedere pe străzile cu vitrine luminate şi unde iluminatul public luminează şi trotuarele, trebuie ca luminanţa

străzii să fie mai mare decît luminanța întregului cîmp vizual. Această luminanță ridicată atenuează contrastul cu alte surse luminoase, cu proiectoarele autovehiculelor, obținîndu-se un confort vizual mai bun și o mai bună vizibilitate a obstacolelor. Se suprimă totodată orbirea și se reduce oboseala conducătorului auto. Vizibilitatea unui obstacol pe fondul dat de o șosea luminată rezultă din contrastul dintre luminanțele obstacolului și ale fondului. Valoarea contrastului între obstacol și suprafața căii nu trebuie — după normele sovietice — să fie mai mare de 0,55 pentru valori ale luminanței medii ale șoselei cuprinse între 0,4 și 1 cd/m$^2$.

**Perfecționarea continuă a surselor de iluminat**

Atenția industriei electrotehnice este îndreptată îndeosebi asupra dezvoltării lămpilor și corpurilor de iluminat, care determină în principal calitatea și economicitatea instalațiilor de iluminat public.

Lămpile curent întrebuințate în instalațiile de iluminat public sînt :

— lămpi cu vapori de mercur cu balon fluorescent (cu lumină corectată), care au cea mai largă întrebuințare ;

— tuburi fluorescente ;

— lămpi cu halogeni ;

— lămpi cu vapori de sodiu de joasă presiune (în cazuri speciale).

În ultimul timp s-au introdus și produse noi, care sînt încă în fază de evoluție :

— lămpi cu halogenuri metalice (ioduri), avînd o eficacitate luminoasă cu 40—50 % mai mare decît a lămpilor cu balon fluorescent și o durată de viață de circa 4 000 de ore (se fabrică numai pentru puteri de 400 și 2 000 W) ;

— lămpi cu vapori de sodiu de înaltă presiune, care dau o lumină aproape albă (alb-auriu), avînd o eficacitate luminoasă de 100 lm/W și o durată de viață de 6 000 ore (se fabrică deocamdată într-un sortiment redus : 250 și 400 W).

**Aplicarea noilor concepții privind iluminatul public în țara noastră**

În ultimele decenii s-au făcut eforturi susținute pentru modernizarea iluminatului public atît în București, cît și în alte orașe din țară. Ca și în alte țări, și la noi s-a urmărit în ultimii ani ridicarea nivelurilor de iluminat și a uniformității iluminărilor.

Industria noastră electrotehnică și-a adaptat producția la noile cerințe, punînd la dispoziția întreprinderilor de electricitate noi tipuri îmbunătățite de corpuri de iluminat.

S-a prevăzut totodată fabricarea lămpilor cu balon fluorescent într-o gamă lărgită de puteri.

Intensificarea crescîndă a traficului auto, sporirea vitezelor de circulație în orașele, pe șoselele și autostrăzile noastre, precum și progresele științifice și tehnice realizate în lume în domeniul iluminatului au condus la amorsarea unor studii și cercetări în legătură cu promovarea în țara noastră a noilor concepții și orientări apărute în evoluția — pe plan internațional — a iluminatului public.

Cercetările urmează să elucideze unele aspecte teoretice și practice, în legătură cu :

— stabilirea scopurilor iluminatului public, în raport cu clasificarea drumurilor (categoriile de drumuri) ;

— rolul îmbrăcăminților rutiere în iluminatul public ;

— proprietățile fotometrice ale îmbrăcăminților rutiere cel mai frecvent utilizate în țară, legile de variație a acestora, în scopul de a prevedea modul în care îmbrăcămințile rutiere reflectă lumina pe care o primesc ;

— clasificarea îmbrăcăminților rutiere utilizate frecvent în țara noastră și stabilirea coeficientului de luminanță $R$ pentru diferitele clase de îmbrăcăminți ;

— stabilirea agregatelor de adaos sintetice sau naturale pentru turnarea îmbrăcăminților rutiere bituminoase de culoare albă, proprietăți fizice, chimice și fotometrice, posibilități de procurare (producere), proporții de amestec cu bitumul ;

— stabilirea unei metode de calcul al iluminatului public care să asigure obținerea unei luminanțe medii determinate (dorite).

Urmează ca pe baza rezultatelor acestor cercetări și a recomandărilor internaționale să se îmbunătățească actualele criterii de calitate și de apreciere a instalațiilor de iluminat public, a căror aplicare să conducă la realizarea unor soluții de înaltă calitate și la economii de cheltuieli de investiții și exploatare și de energie electrică.

**Bibliografie**


[1] * * * *Recommandations relatives à l'éclairage extérieur.* Association Française de l'Eclairage. Paris, 1970.

[2] Gaymard, L. *L'intérêt des chaussées de couleur claire pour l'éclairage et la sécurité.* În : Revue Lux, nr. 28, 1970.

[3] Gaudel, J. V. *Les nouvelles recommandations AFE pour l'éclairage extérieur.* În : Revue Lux, nr. 28, 1970.

[4] Ricoo, M. și Molinari, S. *Critères de sécurité de l'éclairage public.* În : Revue Lux, nr. 57, 1970.

[5] Ostrovsky, M.A. *Street Lighting in the U.R.S.S.* În : Revue Lux, nr. 57, 1970.

[6] Van Hove, L. și Neerman, Ph. *Adaptation de l'éclairage public aux nouvelles conceptions urbanistiques.* În : Revue Lux, nr. 57, 1970.

[7] La Toison, M. *Eclairement et luminance en éclairage public.* În : Revue Lux, nr. 55, 1969.

[8] Schreuder, D. A. *Road lighting and traffic safety.* În : Revue Lux, nr. 57, 1970.

[9] * * * C.I.E. Publicația nr. 12 a Comitetului E 33—1—1965.


**(Articol intrat în redacție la 25 august 1972)**

# Recenzii

N. GHEORGHIU şi P. MILITARU
**Teoria şi practica iluminatului electric.**
Editura tehnică, Bucureşti, 1970.

Lucrarea se adresează, pe de o parte, inginerilor şi tehnicienilor care se ocupă cu probleme de proiectare, execuţie şi exploatare a instalaţiilor electrice, iar, pe de altă parte, studenţilor din institutele de învăţămînt superior.

După introducere, al doilea capitol al cărţii defineşte mărimile fotometrice (flux luminos, intensitate luminoasă, iluminare, excitanţă luminoasă, luminanţă, cantitatea de lumină şi expunerea luminoasă) împreună cu unităţile lor de măsură şi prezintă metodele de măsurare a acestor mărimi (măsurări de fotometrie vizuală şi măsurări de fotometrie fizică). Lucrarea evidenţiază faptul că mărimile ce intervin în studiul iluminatului obţin un caracter obiectiv numai prin adoptarea unei caracteristici medii a sensibilităţii ochiului omenesc, în funcţie de lungimea de undă a radiaţiilor luminoase.

Întrucît condiţiile unei bune instalaţii de iluminat se stabilesc în concordanţă cu caracteristicile ochiului omenesc, capitolul al treilea prezintă constituţia ochiului, modul în care reacţionează la excitaţiile luminoase, stabileşte facultăţile vizuale şi felul în care sînt influenţate acestea de condiţiile de iluminat. Acelaşi capitol prezintă noţiunea de culoare, atît din punct de vedere senzorial (subiectiv), cît şi din punct de vedere fizic (obiectiv), expunînd diferitele sisteme de clasificare a culorilor.

Capitolul patru prezintă condiţiile de calitate a iluminatului electric: uniformitatea iluminării pe suprafeţele de lucru, direcţia luminii şi a umbrelor, luminanţele şi contrastele de luminanţă, evitarea fenomenului de orbire, compoziţia spectrală a luminii. Este pusă în evidenţă interdependenţa acestor condiţii şi este arătat modul lor de satisfacere. Se remarcă tratarea acestei probleme în conformitate cu ultimele tendinţe din tehnica iluminatului, care consideră luminanţa ca factorul cel mai important pentru reuşita unei instalaţii de iluminat, fiind mărimea care influenţează direct ochiul omenesc. Indicaţiile cu privire la aceste condiţii, care determină confortul vizual, sînt mai mult de natură calitativă, avînd în vedere faptul că pînă în momentul de faţă încă nu există exprimări cantitative precise. Acelaşi capitol înfăţişează sistemele de iluminat şi legătura lor cu modul de realizare a condiţiilor de calitate amintite.

Capitolul cinci este destinat izvoarelor electrice de lumină: lămpi cu incandescenţă, lămpi cu descărcări în gaze şi vapori metalici, lămpi cu arc. Sînt expuse fenomenele legate de radiaţiile termice, descărcările în gaze şi vapori metalici, precum şi principiile de funcţionare, modul de utilizare a lămpilor electrice actuale, performanţele lor şi caracteristicile de exploatare.

Capitolul al şaselea prezintă corpurile de iluminat obişnuit (cu rază mică de acţiune) şi proiectoarele (cu rază mare de acţiune). Paragrafele acestui capitol se referă la proprietăţile fotometrice ale materialelor, caracteristicile fotometrice ale corpurilor de iluminat (randament, unghi de protecţie), clasificarea acestora după repartiţia fluxului luminos şi metodele de calcul al fluxului; în ultima parte sînt prezentate tipurile de corpuri de iluminat care se fabrică în prezent.

Metodelor de calcul şi de proiectare a instalaţiilor de iluminat li se acordă o pondere mare în lucrare, fiind expuse în capitolele 7, 8, 9 şi 10.

Capitolul şapte cuprinde calculul iluminărilor date de corpuri luminoase punctuale în instalaţii interioare. Este prezentată metoda coeficientului de utilizare pentru calculul valorilor medii ale iluminărilor totale, în diferitele ei variante. Se insistă asupra metodelor care oferă o exactitate mai mare: metoda punct cu punct, pentru calculul iluminărilor directe date de surse punctuale, şi metoda reflexiilor multiple, pentru calculul componentelor reflectate ale iluminărilor. Se fac consideraţii asupra condiţiilor în care este posibilă şi recomandabilă aplicarea fiecărei metode. În cîteva paragrafe este reflectată tendinţa actuală de a dimensiona şi de a aprecia instalaţiile de iluminat după nivelurile şi repartiţia în spaţiu a luminanţei.

Capitolul opt tratează calculul iluminărilor date de corpuri de iluminat de dimensiuni mari: surse liniare, discuri circulare, panouri dreptunghiulare, panouri triunghiulare, surse luminoase plane de formă oarecare. Capitolul se încheie cu consideraţii asupra erorilor în calculul iluminărilor cu formulele pentru surse punctuale.

Capitolul nouă se referă la calculul iluminărilor în instalaţii exterioare. Sînt prezentate metodele de calcul pentru iluminatul străzilor, calculul iluminărilor orizontale prin metoda punct cu punct şi trasarea curbelor izolux, calculul iluminărilor verticale. A doua parte tratează calculul iluminărilor date de proiectoare şi de corpuri de iluminat nesimetrice, montate înclinat.

În ultimul capitol se dau indicaţii cu privire la unele probleme întîlnite în proiectarea instalaţiilor electrice: alegerea nivelurilor de iluminare şi a factorului de depreciere, alegerea înălţimilor de suspensie şi a unghiului de protecţie, repartiţia corpurilor de iluminat, asigurarea uniformităţii iluminării.

În încheiere este prezentată o metodă pentru verificarea prin calcule a efectului de orbire.

Cartea se remarcă prin rigurozitatea tratării problemelor, prin nivelul teoretic ridicat, modul îngrijit de prezentare, contingenţa cu ultimele tendinţe pe plan mondial în tehnica iluminatului.

Lucrarea atrage atenţia şi prin deosebita ei utilitate în practica curentă a proiectării în domeniul iluminatului, conţinînd tabelele cu valorile coeficienţilor necesari, nomograme, numeroase indicaţii practice din experienţa proiectării, exemple de calcul la sfîrşitul fiecărui capitol.

R. I.

AL. BĂILESCU şi D. SAVOPOL.
**Iluminatul electric. Îndreptar.** Ediţia a II-a, revăzută. Editura tehnică, Bucureşti, 1969.

Lucrarea se adresează inginerilor şi tehnicienilor care lucrează în domeniul alegerii, calculului şi proiectării instalaţiilor de iluminat, precum şi arhitecţilor şi studenţilor în specialităţile corespunzătoare.

Primul capitol al cărţii conţine noţiuni fundamentale de fotometrie şi colorimetrie. Au fost introduse cele mai noi formulări în domeniul mărimilor şi unităţilor lor de măsură, conform standardelor în vigoare. Sînt prezentate caracterizarea fotometrică a surselor de lumină şi efectele lor, precum şi caracterizarea fotometrică a corpurilor. Ultimul paragraf din subcapitolul de fotometrie se ocupă cu metodele de măsurare a mărimilor fotometrice. Subcapitolul de colorimetrie cuprinde noţiuni generale, bazele măsurării culorii, sisteme colorimetrice şi cataloage de culori.

Capitolul doi se ocupă de izvoarele electrice de lumină, sub aspectul principiilor de funcţionare, al construcţiei şi al caracteristicilor lămpilor cu incandescenţă şi ale lămpilor cu descărcări electrice, referindu-se în acelaşi timp şi la accesoriile acestora. Lămpile prezentate sînt în primul rînd cele fabricate în R.S. România, pentru care au fost indicate toate caracteristicile puse la dispoziţie de către întreprinderile producătoare.

În acelaşi mod, este tratată, în capitolul trei, problema materialelor utilizate în tehnica iluminatului şi a corpurilor de iluminat pentru diferitele tipuri de lămpi. Produsele utilizate în tehnica iluminatului sînt cuprinse în special în tabele, schiţe, desene; sînt indicate normele interne şi standardele referitoare la aceste produse şi sînt respectate codificarea şi simbolizarea dată de întreprinderile producătoare. Acest mod de prezentare evidenţiază deosebita utilitate a îndreptarului în practica proiectării iluminatului electric. Este cuprinsă şi descrierea celor mai moderne produse utilizate în tehnica iluminatului pe plan mondial.

Capitolul patru se ocupă de problemele generale privind instalaţiile de iluminat

interior. Cuprinde indicaţiile necesare realizării unei instalaţii de iluminat care să corespundă atît sub aspectul utilitar şi funcţional, cît şi sub acela al esteticii şi confortului vizual. Primele indicaţii se referă la alegerea nivelului de iluminare, conform scopului şi naturii lucrărilor ce se execută în spaţiul deservit de instalaţii. Sînt precizate elementele care determină alegerea nivelurilor de iluminare şi, în funcţie de acestea, sînt prezentate recomandările din normative. Alte consideraţii privesc măsurile pentru evitarea fenomenului de orbire, pentru realizarea uniformităţii iluminării şi perceperea detaliilor; se fac recomandări cu privire la compoziţia spectrală a luminii, alegerea sistemului de iluminat şi a izvorului de lumină, alegerea aparatelor de iluminat şi modul lor de amplasare.

Ultima parte cuprinde consideraţii tehnico-economice. Capitolul cinci este destinat calculului fotometric al instalaţiilor electrice de iluminat interior. Sînt trecute în revistă metodele uzuale de calcul fotometric, fiind analizate comparativ şi indicîndu-se cazurile în care este justificată aplicarea fiecărei metode. Sînt prezentate metoda punct cu punct, metoda factorului de utilizare, metoda puterii specifice şi se fac consideraţii cu privire la metoda reflexiilor multiple. În cadrul metodelor nu sînt expuse demonstraţiile, ci sînt puse la îndemîna utilizatorilor doar formulele şi metodologia calculului, ilustrată cu exemple.

Capitolul şase se referă la instalaţiile de iluminat interior. Sînt tratate problemele iluminatului artificial într-o serie de categorii de instalaţii mai importante, dîndu-se recomandări generale şi exemplificări bazate în special pe tendinţele moderne din ţara noastră şi în concordanţă cu posibilităţile de realizare existente. Sînt expuse problemele specifice ale iluminatului în locuinţe, instituţii şi clădiri administrative, şcoli, spitale şi policlinici, magazine, săli de spectacole, muzee, săli de sport, ca şi problemele iluminatului industrial.

Capitolul şapte tratează problemele instalaţiilor de iluminat exterior. Sînt prezentate caracteristicile iluminatului exterior din punctul de vedere al nivelurilor de iluminare şi al factorilor de uniformitate a iluminării, sînt expuse metodele de calcul pentru izvoare simetrice şi nesimetrice, se fac consideraţi cu privire la determinarea poziţiei surselor de lumină, se prezintă calculul iluminării cu proiectoare şi calculul uniformităţii iluminării. În ultima parte sînt prezentate problemele specifice ale iluminatului arterelor de circulaţie, ale iluminatului parcurilor şi spaţiilor verzi, monumentelor de arhitectură şi faţadelor, ale iluminatului publicitar şi decorativ, ale iluminatului terenurilor sportive şi industriale.

Cartea se încheie cu prezentarea unui dicţionar poliglot de termeni uzuali din tehnica iluminatului, foarte util pentru consultarea literaturii străine de specialitate.

Lucrarea, sub formă de îndreptar, tratează problemele de bază din teoria iluminatului electric şi pune la îndemîna inginerilor, tehnicienilor şi arhitecţilor elementele tehnice necesare în proiectarea şi execuţia instalaţiilor de iluminat. Cartea oferă o vedere de ansamblu asupra concepţiei moderne din tehnica iluminatului şi conţine indicaţii foarte utile pentru rezolvarea corectă a problemelor de iluminat.

**R. I.**

# DOCUMENTARE

BAKER, J. E. **Iluminarea supermagazinelor** (Lighting for supermarkets). În: Light and lighting, vol. 64, nr. 8, august 1971, p. 258–260, 6 fig.

Autorul arată că principala problemă ridicată de iluminarea supermagazinelor este luminanţa exagerată a corpurilor de iluminat, din cauza nivelurilor de iluminare foarte ridicate, care produc orbirea cumpărătorilor şi a personalului. Astfel, norma de maximum 1 klx, recomandată pentru firmele şi reclamele luminoase în poziţie orizontală, a fost depăşită (în special în magazinele din S.U.A.), ajungînd la 1,5 şi chiar la 2 klx pentru firme şi reclame verticale, unde nivelurile de iluminare se indică a fi mai scăzute (acestea atrăgînd mai uşor atenţia prin poziţia lor). O altă practică nerecomandabilă este depăşirea indicelui de orbire (25, conform normelor britanice IES) de către proprietarii magazinelor, în scopuri comerciale şi mai ales prin folosirea unor corpuri de iluminat fără reflector sau sisteme de protecţie, urmărindu-se doar efectul atractiv-decorativ al realizării iluminatului.

În continuare se arată că o prea diversă gamă de culori a tuburilor fluorescente folosite în diferitele raioane ale supermagazinelor (în special alb cald şi alb cald de lux în raioanele de cosmetică şi alimentare) duce la oboseala vizuală a cumpărătorului şi la realizarea unor temperaturi prea ridicate, mai ales în orele de aglomeraţie a magazinelor. Una dintre soluţiile cele mai interesante este folosirea scafelor din plafonul magazinelor şi drept locuri de introducere a aerului condiţionat, soluţie ce duce la răcirea corpului de iluminat după o îndelungă funcţionare.

În viitor pentru marile supermagazine (peste 5 000 m$^2$) se prevede ca, la nivelurile de peste 1 klx ale iluminatului vertical, corpurile de iluminat să fie echipate cu elemente de protecţie prismatice, ce vor reduce unghiurile de orbire directă. Soluţiile actuale adoptate sînt panouri luminoase sau şiruri luminoase realizînd iluminat mixt.

*A. S.*

**Iluminatul de siguranţă** — comunicare BEAMA (Safety lighting a statement by BEAMA). În: Light and lighting, vol. 64, nr. 8, august 1971, p. 242–246.

Asociaţia de protecţie contra incendiilor arată că în ultimii 50 de ani s-au înregistrat 94 de pierderi de vieţi omeneşti din cauza a şase incendii provocate de execuţia neadecvată a iluminatului de siguranţă.

BEAMA (Asociaţia britanică a manufacturilor aliate pentru electricitate) a stabilit criteriile de proiectare şi de execuţie a sistemelor comune de iluminat de evacuare şi siguranţă în ceea ce priveşte producerea de baterii, încărcătoare de baterii, comutatoare, întreruptoare şi corpuri de iluminat specializate. S-a stabilit, de asemenea, o terminologie comună, precisă, pentru diferenţierea iluminatului normal de cel de siguranţă. În continuare, asociaţia BEAMA descrie conţinutul standardului pentru iluminatul de evacuare, împărţit pe clase de premise de aplicare. Pentru fiecare clasă se indică durata necesară de funcţionare a bateriei ce înlocuieşte alimentarea cu energie de la sursele obişnuite. După maximum 14 ore de funcţionare o baterie secundară trebuie să intre în funcţiune pentru a suplini (sau înlocui) pe prima. Adaptarea vizuală la iluminatul de siguranţă trebuie să fie mai mică de 5 s, acesta fiind necesar să lumineze astfel, încît orice persoană să poată distinge cea mai apropiată cale de ieşire şi punctele de alarmare antiincendiu, ce conţin echipamentul de stingere adecvat.

*A. S.*

TARRANT, A.W.S. **Experienţe cu amfiteatre de expunere** (Experiences with lecture theatres). În: Light and lighting, vol. 64, nr. 1, ian. 1971, p. 17–20, 10 fig.

Autorul examinează condiţiile realizării instalaţiilor de iluminat din sălile de expunere ale Universităţii din

Surrey, concentrate într-o singură clădire special afectată acestui scop. Sălile sînt concepute astfel: una de 300 de locuri, una de 200 de locuri, patru de 100 de locuri şi cinci clase mai mici, pentru seminarii sau lectură. Toate aceste încăperi sînt iluminate fluorescent, prevăzîndu-se şi un iluminat local prin lămpi de 100 W, montate în corpuri gen lampă de birou cu o tijă deplasabilă, ce asigură iluminarea necesară luării notelor în momentul cînd sala este cufundată în întuneric, în timpul experienţelor sau expunerilor.

Corpurile fluorescente au fost montate direct pe plafon, între grinzi, asigurînd un iluminat direct, difuzoarele de lumină avînd capete prismatice şi feţe laterale din materiale opale. Expunerea se face cu ajutorul proiectoarelor montate pe catedră, ce iluminează puternic panourile conţinînd scheme şi detalii plasate pe peretele din spatele catedrei, în faţa auditoriului. Tuburile fluorescente sînt de culoare albă, aşezate transversal pe plafonul sălilor. Iluminatul de evacuare s-a realizat prin tuburi fluorescente de 13 W, alimentate de o baterie de 24 V. S-au realizat pe mesele de lucru (băncile fiind prea rigide) niveluri de iluminare între 260 şi 310 lx. Dintre dificultăţile întîlnite se menţionează: cablurile de alimentare a corpurilor de pe mesele studenţilor deranjează circulaţia, panourile explicative sînt prea mari (sala de 300 de locuri) pentru asigurarea vizibilităţii din orice punct, ceea ce duce la apariţia de zone umbrite, îngreunînd şi indicarea detaliilor de către conferenţiar etc. Cu toate acestea sistemul utilizat a dat bune rezultate pedagogice, urmînd a fi aplicat şi în alte clădiri de acest gen.

*A. S.*

DÉRIBÉRÉ, M. **Lumină, culoare şi circulaţie** (Lumière, couleur et circulation). În: Revue Française de L'électricité, anul 44, nr. 233, trim. 2, 1971, p. 36–40, 7 fig.

În prima parte a articolului autorul se referă la gradul de poluare a oraşelor, datorită dezvoltării spectaculoase a tehnicii, la problemele deosebite ce se pun la această oră pentru oraşele gigant, la securitatea în circulaţie atît a conducătorului auto cît şi a pietonului. Revenind la securitatea în circulaţie se arată că s-au făcut realizări importante, atît în sensul măririi nivelului de iluminare cît şi în sensul perfecţionării semnalizării. Se scoate în evidenţă necesitatea adoptării culorilor în mod corespunzător: roşu pentru interzis, orange pentru atenţie, încetineşte, eventuală oprire şi verde pentru securitate sau liberă trecere, stabilindu-se şi zonele acestora în cadrul triunghiului culorilor după C.I.E. Totodată este reliefată importanţa culorii pentru o uşoară orientare, citire şi circulaţie în cît mai bune condiţii. Aceste probleme fac obiectul unor cercetări în cadrul Asociaţiei franceze de iluminat, al Centrului de informare a culorii şi Centrului de studii în problemele psihologice.

În final se fac cîteva recomandări cu caracter de soluţie pentru un viitor apropiat, cum ar fi: folosirea şoselelor cu placaje colorate, ce ar permite adoptarea iluminatului la valori superioare ale luminanţelor şi deci o vizibilitate mai bună a obstacolelor, adoptarea de culori diferenţiate pentru şosele în funcţie de importanţa acestora sau adoptarea luminii cu nuanţă diferită la trecerile de pietoni, pasaje, la intersecţii etc.

*M. N.*

COURTOIS, J. **Predarea iluminatului în şcolile primare din regiunea pariziană.** (L'enseignement de l'éclairage dans les écoles primaires de la région parisienne) În: Revue Française de L'électricité, 44, nr. 233, trimestrul 2, 1971, p. 40–44, 5 fig.

În prima parte a articolului se prezintă importanţa iluminatului în desfăşurarea activităţii omului la toate vîrstele. Se arată în mod deosebit rolul pe care trebuie să-l joace un foarte bun iluminat, atît din punct de vedere cantitativ, cît şi din punct de vedere calitativ, în activitatea tinerilor şi îndeosebi a vîrstnicilor (a tinerilor, deoarece ochiul este în formare şi poate căpăta uşor unele afecţiuni, dar şi a vîrstnicilor, deoarece ochiul are pupila mult micşorată, iar cristalinul prezintă un coeficient de absorbţie a luminii ridicat).

Ministerul Educaţiei Naţionale şi Academia de medicină din Franţa au elaborat în 1965 un decret prin care se reglementau condiţiile realizării unui bun iluminat în şcoli şi în localuri universitare. Rezolvarea problemei iluminatului în cadrul şcolii nu este de natură să satisfacă, deoarece în afara şcolii elevii beneficiau de cele mai multe ori de un iluminat necorespunzător, ce ducea la oboseală rapidă şi inapetenţă în pregătirea lecţiilor. De aceea, experimental s-a organizat o campanie numită „Lumină şi sănătate", cu scopul de a informa pe elevi asupra noţiunilor simple despre un bun iluminat. Succesul acestui experiment a dus la predarea organizată de lecţii despre iluminat în şcolile primare din departamentul Seine şi apoi extinderea acestei forme de pregătire în toate celelalte departamente. În cadrul acestor lecţii, ţinute de profesori pregătiţi special, elevii primesc noţiunile simple despre iluminat. Totodată au la dispoziţie truse portabile, special confecţionate, ce le permit măsurări de iluminări, alegerea surselor de lumină şi a nivelului optim de iluminare pentru lectură fără efort, studiul influenţei luminii directe şi difuze asupra corpurilor, studiul influenţei sursei asupra redării culorii obiectelor etc.

Succesul acestei măsuri a determinat introducerea lecţiilor despre iluminat şi în colegii şi chiar ca forme de educaţie a publicului larg.

*M.N.*

**Raport de la simpozionul IES. Folosirea calculatoarelor în iluminat** (The use of computers in lighting). În: Light and lighting, vol. 63, nr. 6, iunie 1971, p. 172–173.

Raportorul J.W. Simpson de la Universitatea din Manchester arată avantajul programării în calculul iluminării a elementelor specifice, ca indexul de poziţie al corpurilor de iluminat pentru evitarea strălucirii şi orbirii, determinarea uniformităţii în distribuţia luminoasă, corelarea cu iluminarea naturală etc., faţă de folosirea datelor întabelate. Se subliniază avantajul programării în procesele de optimizare, calculatorul electronic examinînd şi respingînd rapid situaţiile nerentabile.

Iluminatul stradal rezolvat cu ajutorul calculatoarelor a fost examinat de către R.C. Aldworth şi J.C. Digweed, care au arătat că s-au obţinut noi date fotometrice pentru lămpile simple, uşurînd asamblarea lor în corpuri de iluminat, ceea ce simplifică procesul de producţie şi scade costul unei lămpi (pentru lampa-standard de 1 000 lm).

M.B. Helstead arată că avantajul maxim al calculatoarelor se obţine în laboratoarele de cercetări pe testele de rutină şi prin analiza rezultatelor experienţelor, ducînd la reduceri de preţuri de cost prin folosirea benzilor magnetice sau a cartelelor perforate. Astfel s-au obţinut datele tehnice a noi reflectoare eficiente şi s-au făcut analize statistice foarte exacte. Se insistă asupra clarităţii datelor furnizate programatorului, necesitate primordială ce trebuie respectată de către inginerul specialist în iluminat.

Un grup de 40 de ingineri arată un cîştig de timp de 10% prin folosirea calculatorului în proiectarea iluminatului interior şi a noilor corpuri de iluminat în sine. Exemple foarte complexe arată eficacitatea calculatorului în determinarea aportului iluminării naturale în iluminatul interior al clădirilor, furnizîndu-se astfel pentru orice fel de suprafaţă vitrată date precalculate în funcţie de diversele condiţii exterioare de iluminare (oră, anotimp, stare meteo etc.), ceea ce duce la rezultate exacte de calcul imediat pentru interior.

*A.S.*

BRIDGERS, D.J. **Tehnici de măsurare a iluminării** (Techniques of light measurement). În: Light and lighting, vol. 63, nr. 10, oct. 1971, p. 339–340, 3 fig., 1 ref. bibl.

Pentru folosirea unui „metru de iluminare" (fotometru pentru măsurarea iluminării), autorul arată că este esenţial ca acesta să conţină corecţii pentru cosinus şi pentru culoare. Existenţa unei celule pentru determinarea exactă a culorii sursei este necesară mai ales acolo unde sînt folosite surse de culori diferite în aceeaşi instalaţie sau în locurile unde accesul la sursă este imposibil din cauza înălţimii de montaj sau a etanşeităţii acesteia. Corectarea cosinusului în mă-

surarea iluminării se face la fotometrele avînd o celulă fotometru-standard. O altă metodă de corectare a cosinusului este măsurarea cu ajutorul unui banc fotometric în laborator a unei surse-standard de aceleaşi caracteristici cu sursa reală ce este analizată şi compararea rezultatului obţinut cu cel dat de fotometrul care se elaborează. Pentru măsurătorile în interior se recomandă ca: aparatele de iluminat să fie curate, tensiunea să fie corectă, factorii de reflexie ai încăperii corect determinaţi, lumina exterioară eliminată, vîrsta sursei precizată. Se recomandă împărţirea încăperii în pătrate în centrele cărora se fac citirile (circa 9 sînt suficiente). Se recomandă ca măsurătorile să fie făcute în exterior numai după apusul soarelui, în colţurile pătratelor în care s-a divizat spaţiul şi în trei poziţii pentru fiecare măsurătoare (orizontal, vertical şi 15° de la verticală) cu ajutorul unui stand fotometric de poziţie variabilă pe care se plasează fotometrul.

În final, sînt clasificate fotometrele de măsură a luminanţei: cele indirecte (citiri prin comparaţie cu o sursă-standard cunoscută) şi cele cu citire directă, mai uşor de folosit, dar mai costisitoare.

*A. S.*

LYONS, S. **Iluminatul în industria confecţiilor** (Lighting in the clothing industry). În: Light and lighting, vol. 64, nr. 10, oct. 1971, p. 333—337, 3 fig., 1 tab. anexă, 5 ref. bibl.

Pentru început, autorul examinează dezvoltarea economică deosebită a industriei confecţiilor, caracteristicile spaţiilor de lucru ale acesteia, stabilind elementele comune din punctul de vedere al realizării unei iluminări optime a diferitelor tipuri de fabrici din această industrie. Se arată că în această industrie 90% din totalul de 430 000 de salariaţi sînt femei, iar 50% din personal este în curs de calificare la locul de muncă. Procesul de muncă capătă şi aspectul celui de învăţămînt practic, iluminarea necesară fiind tratată în consecinţă (cu accent pe marile centre tipice: Londra, Leeds, Manchester şi Glasgow). Condiţiile unei iluminări calitativ superioare influenţează direct productivitatea muncii, combat oboseala vizuală şi nervoasă, duc la un randament productiv superior. Se impune o revizuire a standardelor pentru iluminat în industria confecţiilor (unele fabrici vechi de peste 150 ani avînd instalaţiile electrice şi de iluminat complet depăşite), în pas cu introducerea noilor tehnici de lucru: metodele de fotocopiere a modelelor, controlul automat al tăierii materialelor cu ajutorul calculatoarelor electronice, folosirea laserelor, a jeturilor de apă sau a arcurilor cu plasmă. În conformitate cu normele pentru iluminatul interior al clădirilor (codul IES), în anexa 1 se arată, funcţie de destinaţia încăperii şi de tipul de proces de producţie, iluminările minime medii necesare, cu aplicare specială asupra distingerii diferenţelor de culoare specifice industriei confecţiilor.

În urma vizitării şi analizării condiţiilor comune în 12 întreprinderi reprezentative concluziile sînt: o prea mică folosire a spaţiilor vitrate, niveluri de iluminare locale prea scăzute (100—150 lx), montarea tuburilor fluorescente prea jos (circa 2 m), o neuniformitate a iluminării, un slab control al temperaturii degajate în încăperile iluminate la niveluri mari (peste 600 lx).

*A. S.*

LYONS, S. **Iluminatul de pază în timpul nopţii al incintelor industriale şi comerciale** (Lighting for night security of industrial and commercial premises). În: Light and lighting, vol. 64, nr. 6, iunie 1971, p. 149—153, 6 fig, 2 tab. anexă, 5 ref. bibl.

Autorul prezintă la început date statistice privind dezavantajele unui iluminat de pază necorespunzător (bănci, şantiere, instituţii). În continuare se arată eficienţa sporită a unui iluminat de securitate nocturnă la niveluri ridicate în jurul incintelor.

Soluţiile optime recomandate sînt:

a) iluminarea perimetrelor incintelor, şi anume a ambelor feţe ale zidurilor exterioare la niveluri de 1—2 lx cu surse exterioare, eventual folosindu-se chiar iluminatul stradal;

b) iluminarea incintei, în special pentru spaţii deschise, parcuri, prin corpuri de iluminat plasate la nivelul solului şi care au deschideri mari ale ariilor iluminate (proiectoare), plasate circular sau central pe stîlpi de 30 m înălţime pentru întinderile mai mari;

c) iluminarea pereţilor clădirii şi a faţadelor, cît şi a suprafeţelor dintre clădire şi zidurile incintei (cînd paznicii sînt plasaţi în clădire), prin corpuri plasate în exterior, la nivelul solului în faţa suprafeţelor de iluminat. Se recomandă vopsirea clădirilor în culori deschise, în special alb;

d) iluminatul punctelor înalte ale clădirilor, acoperişurilor, ieşirilor de incendiu, trapelor de acces, cu ajutorul reflectoarelor avînd dublu rol: iluminat de pază şi de siguranţă.

Se analizează necesitatea iluminatului de pază, autorul împărţind clădirile în trei categorii de risc: moderat, ridicat şi extrem. Astfel pentru ultimele două categorii, se recomandă în afara iluminatului de pază şi o supraveghere printr-un circuit de televiziune intern, ceea ce duce la un nivel al iluminatului exterior de pază de circa 100 lx în plan orizontal.

*A.S.*

BAKER, J.E. **Iluminatul subacvatic** (Underwater lighting). În: Light and lighting, vol. 64, nr. 6, iunie 1971, p. 165—168, 6 fig.

Autorul arată că preţul instalaţiilor subacvatice de iluminat este recompensat de realizări spectaculoase, cu condiţia asigurării siguranţei în instalare şi exploatare. Se arată că obţinerea unui aparataj electric şi de iluminat etanş se face prin două metode: construirea fiecărei piese din material rezistent la coroziune (oţel galvanizat, bronz fosforos, aluminiu tratat etc.), ceea ce duce la obţinerea de ansambluri foarte grele, dar uşor de ancorat sub apă, sau construcţii mai uşoare de aparate de iluminat subacvatic, în care volumul de aer cuprins în interior este minim, dar care necesită un ancoraj submarin pentru fixare. O altă metodă, mai puţin precisă, este bazată pe principiul clopotului de scufundare, sub care se plasează conexiunile electrice, avînd drept avantaj adaptabilitatea la schimbările de nivel ale apei şi dezavantajul unei înclinări de cîteva grade de la verticală. Se acordă deosebită importanţă sticlei din care este construit corpul de iluminat, care, dacă rezistă bine la temperaturile scăzute ale apei, rezistă mai puţin la şoc termic (apărut la schimbarea lămpii şi repunerea corpului încălzit în apă). Se recomandă, de asemenea, evitarea tensiunilor normale (220, 110 V) în alimentare şi utilizarea tensiunilor scăzute: 12 şi 24 V pentru lămpi de 150 W cu flux concentrat pentru o siguranţă sporită în exploatare.

Ca mod de plasare a corpurilor se recomandă, în funcţie de caracterul mişcător sau stagnant al peisajului acvatic respectiv, aşezarea circulară pentru fîntîni şi bazine, în rocă, sub căderile de apă sau cascade, sau local, într-un peisaj întins cu puncte caracteristice (grădini cu căderi de apă sau fîntîni arteziene).

Pentru un iluminat în culori se recomandă folosirea filtrelor sau a lămpilor colorate direct după destinaţie, filtrele avînd o absorbţie mare, în special pentru culorile verde şi albastru. Culorile se recomandă a fi pale, pentru obţinerea unor efecte deosebite.

*A.S.*

**Revista „ENERGETICA" — organ al Ministerului Energiei Electrice și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din R.S. România (CNIT). Redacția: București, str. Galați nr. 5—7, Sectorul II, Tel. 13 66 83, 23 77 77. Instituțiile pot achita abonamente pentru biblioteci și cabinete tehnice în contul nostru de virament nr. 30.01 01.00 B.N.R.S.R. — Sectorul VI. Tarif pentru întreprinderi lei 100 anual. Tarif pentru muncitori, tehnicieni și ingineri lei 30 anual. Prețul unui exemplar lei 5**

**Taxele poștale plătite în numerar conform aprobării D.G.P.T. nr. 10,1095, 1967**

**I.P.I. c. 1952**

E 2039

# CUPRINSUL REVISTEI „ENERGETICA" VOL. XX (1972)

## I. Articole de fond și editoriale


1. Stăncescu, I.D. și Nitu, V.I. : *A VIII-a Conferință Mondială a Energiei*, nr. 3, p. 85–91.
2. * * * *Inaugurarea Sistemului hidroenergetic și de navigație Porțile de Fier*, nr. 6, p. 221–222.
3. Stoica, Gh. : *20 de ani de la înființarea întreprinderii „Energoreparații"*, nr. 6, p. 223–225.
4. Săftoiu, Gh. : *Realizări și perspective în activitatea întreprinderii „Energoreparații"*, nr. 6, p. 226–229.
5. * * * *La a 25-a aniversare a Republicii*, nr. 12, p. 537–538.


## II. Energetică generală


1. Antonescu, V. și Mișu, Al. : *A VIII-a Conferință Mondială a Energiei, diviziunea 1 : Cereri de energie : aspecte noi în dezvoltarea tehnică și economică*, nr. 3, p. 91–94.
2. Burducea, C. și Budeanu, C. : *A VIII-a Conferință Mondială a Energiei, diviziunea 2 : Procese noi sau progrese cu caracter general privind ameliorarea proceselor separate de producere, de transport, de transformare și de consum de energie*, nr. 3, p. 95–99.
3. Stăncescu, I.D. și Moțoiu, C. : *A VIII-a Conferință Mondială a Energiei, diviziunea 3 : Scheme și instalații pentru utilizări complexe ale energiei în scopuri multiple*, nr. 3, p. 99–106.
4. Costin, E. : *A VIII-a Conferință Mondială a Energiei, diviziunea 4 : Metode noi de calcul tehnic și economic promovînd o mai bună utilizare a energiei*, nr. 3, p. 106–111.
5. Costin, E. : *A VIII-a Conferință Mondială a Energiei, diviziunea 5 : Implicațiile economice și sociale ale îmbunătățirii utilizării energiei*, nr. 3, p. 111–112.
6. Nitu, V.I. : *Problemele de fiabilitate în preocupările celei de-a VIII-a Conferințe Mondiale a Energiei*, nr. 3, p. 113–120.
7. Burducea, C. și Moțoiu, C. : *Poluarea mediului înconjurător de către efluenții centralelor termoelectrice*, nr. 3, p. 120–123.
8. Lup, L. : *Influența mărimii puterii unitare a blocurilor termoenergetice asupra siguranței sistemelor electroenergetice*, nr. 4, p. 139–142.
9. Mavrodin-Tărăbîc, M., Onaca, I. și Solacolu, I. : *Pilele cu combustibil — surse moderne de energie electrică*, nr. 7, p. 323–326.
10. Albert, H. : *Unele aspecte ce trebuie avute în vedere la abordarea calculelor de siguranță a instalațiilor*, nr. 8, p. 353–358.
11. Diatcu, E. și Dobrescu, D.M. : *Analiza unor modele structurale de siguranță în funcționare (cu aplicație în energetică)*, nr. 8, p. 358–363.
12. Mavrodin-Tărăbîc, M., Onaca, I. și Solacolu, I. : *Randamentul realizat în conversia energiei chimice în energia electrică de o sursă chimică de tip zinc-aer*, nr. 9, p. 424–428.


## III. Termoenergetică


1. Giuvelea, P. și Athanasovici, V. : *Stabilirea consumului specific de căldură al serelor legumicole*, nr. 1, p. 1–9.
2. Brachetti, H.E. : *Amplasarea direct în pămînt a rețelelor de termoficare*, nr. 1, p. 10–19.
3. Nicu, Vl. : *Particularități în variația randamentului cazanelor de apă fierbinte*, nr. 1, p. 20–21.
4. Bălan, F.V. : *Aspecte privind modificarea caracteristicilor fizico-chimice ale depunerilor provenite din arderea combustibililor în centrale, în vederea măririi siguranței în exploatare a cazanelor*, nr. 1, p. 21–26.
5. Luca, L. și Leca, A. : *Fluxurile termice critice în canale cu suprafețe netede și rugoase*, nr. 2, p. 49–53.
6. Nicu, Vl. : *Considerații cu privire la perioada optimă de revizie a condensatorului turbinelor de termoficare*, nr. 4, p. 166–168.
7. Slăvescu, M. și Cocaranza, G. : *Sisteme de menținere a vidului în condensatoarele turbinelor*, nr. 5, p. 207–211.
8. Nicu, Vl. : *Particularități ale schemelor termice în care funcționează blocuri de mare putere*, nr. 5, p. 212–215.
9. Istrate, I. : *Utilizarea proprietăților numerelor complexe la calculul echilibrării rotoarelor la turație nominală*, nr. 6, p. 230–235.
10. Catanchin, Al. și Vasilescu, N. : *Cu privire la soluția de repunere în funcțiune după avarie a turbinei nr. 2 Iași prin reconstrucția roții de reglaj*, nr. 6, p. 235–240.
11. Bălan, F.V. : *Înlăturarea compușilor cu vanadiu și sodiu din zonele de temperatură înaltă, la arderea păcurii cu conținut ridicat de sulf, în centrale*, nr. 6, p. 267–273.
12. Stanisavlievici, L. : *Domeniul optim de pH al schimbătorilor de ioni*, nr. 8, p. 363–368.
13. Burdeți, D. : *Măsurarea deplasărilor mici cu traductoare diferențiale tip transformator*, nr. 8, p. 369–373.
14. Nabijovici, A. și Oprescu, S. : *Posibilități de evitare a cavitației pompelor de alimentare în cazul schemelor-bloc*, nr. 8, p. 374–382.
15. Kraft, M., Moțoiu, C., Cerghizan, V. și Ilicea, C. : *Considerații în legătură cu gradul de utilizare a puterii instalate într-o centrală termoelectrică*, nr. 9, p. 389–398.
16. Leca, A. și Prisecaru, I. : *Analiza regimului termic și mecanic al supraîncălzitorului convectiv al cazanului TGM-84-3*, nr. 9, p. 417–422.
17. Staicu, C.I. : *Pierderea de presiune în conducte*, nr. 9, p. 422–423.
18. Moțoiu, C., Leca, A., Ohanian-Constantinescu, V., Ionescu, C., Ionescu, L., Prisecaru, I., Dumitrescu, I.S. și Brătianu, C. : *Influența temperaturii inițiale asupra condițiilor de funcționare a supraîncălzitorului și a conductelor de abur de înaltă presiune la o centrală de termoficare*, nr. 10, p. 438–447.
19. Chercea, G. și Tardos, G. : *Calculul temperaturilor caracteristice din focarele cazanelor de abur*, nr. 10, p. 447–450.
20. Nabijovici, A. : *Calculul unor parametri privind cavitația pompelor de alimentare*, nr. 11, p. 475–477.


## IV. Electroenergetică


1. Buta, A. : *Alimentarea rețelelor urbane buclate complex de joasă tensiune*, nr. 1, p. 34–38.
2. Buhuș, P. și Stan, P. : *Folosirea aceluiași întreruptor pentru circuitul de transformator și pentru cupla de ocolire în stațiile cu separatoarele dispuse în linie*, nr. 1, p. 39–42.
3. Drăgan, D. și Crețu, Gh. : *Determinarea din probe a parametrilor RAT și RAV la grupul de 100 MW de la CET Galați; influența lor asupra comportării grupului în regimuri dinamice*, nr. 2, p. 53–59.
4. Cîrțînă, Gh.I. : *Particularitățile ferorezonanței în sistemele trifazate*, nr. 2, p. 59–62.
5. Potolea, E. și Tudose, M. : *Utilizarea algoritmului simplex la calculul regimului permanent al sistemelor electroenergetice*, nr. 2, p. 62–69.
6. Ivașcu, C. : *Studii și calcule cu privire la reducerea zonei moarte a releelor direcționale*, nr. 2, p. 70–74.
7. Popescu, A. : *Aspecte privind transpunerea liniilor electrice aeriene*, nr. 2, p. 74–81.
8. Mark, D. : *Verificarea calității echipamentului electric de înaltă tensiune în condiții similare celor din exploatare*, nr. 4, p. 133–139.
9. Oprișiu, N. : *Separarea automată a CET Galați față de sistemul energetic la apariția pendulațiilor în sistem. Descrierea instalației, mod de funcționare, regimuri*, nr. 4, p. 143–146.
10. Bogdan, C. și Staadecker, M. : *Aspecte legate de utilizarea metodei eliminărilor multiple și a metodei eliminărilor ordonate în calculul echivalenților REI*, nr. 4, p. 146–149.
11. Porțeanu, M. și Săndulescu, M. : *Aspecte tehnico-economice privind tranzistorizarea circuitelor de comandă și semnalizare din stații electrice de 10, 20 și 35 kV*, nr. 4, p. 149–157.

12. Dimo, P. : *Concepte noi în analiza rețelelor de energie. Analiza în timp real*, nr. 5, p. 177—183.
13. Berbece, C. și Șerban, R. : *Alegerea funcțiilor unor caracteristici energetice în vederea programării pe un calculator numeric de mică capacitate (MCC-200)*, nr. 5, p. 183—189.
14. Grigoriu, V. : *Soluții moderne de realizare a instalațiilor de producere a curentului continuu în centralele și stațiile electrice*, nr. 5, p. 190—194.
15. Potlog, D.M. și Rugină, V. : *O metodă de determinare a parametrilor motoarelor asincrone*, nr. 5, p. 194—197.
16. Crețu, Gh. : *Probele efectuate la grupurile de 60 și 100 MW de la CET Galați*, nr. 5, p. 198—204.
17. Mark, D. : *Relații de calcul pentru optimizarea coordonării izolației*, nr. 5, p. 204—206.
18. Cristea, H. și Brînzaru, G.I. : *Afișajul grafic al imaginilor caracteristice comportării grupurilor de mare putere dintr-o centrală electrică*, nr. 6, p. 262—267.
19. Mark, D. : *Metodă de introducere statistică a frecvenței supratensiunilor de comutație în coordonarea izolației stațiilor electrice*, nr. 7, p. 294—301.
20. Cruceru, C. : *Tendințe actuale în construcția cablurilor de energie și a elementelor de îmbinare destinate rețelelor electrice în cablu*, nr. 7, p. 302—308.
21. Grigoriu, G. și Stănciulescu, G : *Prelucrarea automată a informațiilor privind incidentele, avariile și deteriorările de echipamente din sistemul electroenergetic național*, nr. 7, p. 309—315.
22. Drăgan, D. : *Noțiuni fundamentale referitoare la metodele de identificare experimentală a unui proces. Posibilități de aplicare a acestor metode în energetică*, nr. 7, p. 315—323.
23. Dimo, P. : *Soluțiile analizei nodale în cazul calculului în timp real și al interconexiunilor vaste*, nr. 8, p. 333—341.
24. Rașcu, P. : *Stațiile de conexiuni și transformare de la CHE Porțile de Fier. Schema electrică și dispozițiile constructive adoptate*, nr. 8, p. 342—346.
25. Stein, M. și Vîlcereanu, A. : *Unele considerații asupra modalităților de determinare a indicatorilor de siguranță ai schemelor de alimentare cu energie electrică*, nr. 8, p. 346—352.
26. Rașcu, P. : *Stațiile de conexiuni și transformare de la CHE Porțile de Fier, circuite secundare, servicii proprii și instalații auxiliare*, nr. 9, p. 398—401.
27. Crăciunescu, V și Lădar, L. : *Selectarea schemelor de excitație pentru hidrogeneratoare pe baza criteriilor tehnico-economice prin metoda „ELECTRE”*, nr. 9, p. 407—416.
28. Nitu, V.I., Stein, M., Pipa, G. și Oprișan, G. : *Asupra interpretării numărului mediu de întreruperi ale unei scheme, obținut în urma calculelor de siguranță*, nr. 10, p. 433—437.
29. Moraite, G. : *Aspecte ale reglajului automat de tensiune și viteză ale grupurilor generatoare de mare putere*, nr. 10, p. 450—454.
30. Potlog, D.M. : *Condiții de insensibilizare a motoarelor asincrone la goluri de tensiune*, nr. 10, p. 454—461.
31. Crețu, D., Hațeganu, I. și Țînțăreanu, C. : *Vibrația în crestătură a conductoarelor înfășurării statorice a turbo și hidrogeneratoarelor mari*, nr. 10, p. 462—470.
32. Darie, S. și Micu, R. : *Sursă de putere reactivă cu reglaj continuu*, nr. 10, p. 471—474.
33. Popescu, S. : *Realizarea unor protecții de distanță tranzistorizate folosind caracteristici de măsurare conice*, nr. 11, p. 485—493.
34. Preda, L. și Voinea, E. : *Posibilități de îmbunătățire a unei scheme de semnalizare și comandă la distanță a separatoarelor din centralele și stațiile electrice, prin aplicarea algebrei logice*, nr. 11, p. 494—499.
35. Máthé, B. și Moldoveanu, C. : *Încercarea la scurtcircuit brusc a transformatoarelor privită de pe poziția beneficiarului*, nr. 11, p. 506—512.
36. Sufrim, E. : *Metodă grafică pentru proiectarea instalațiilor de iluminat industrial*, nr. 12, p. 544—547.
37. Pașa, B.I. : *Metodă rapidă de calcul al iluminatului interior direct cu lămpi fluorescente*, nr. 12, p. 547—552.
38. Centea, O. și Mira, N. : *Nomograme cu puncte aliniate pentru calculul componentei directe a iluminării determinate de panouri luminoase de formă dreptunghiulară*, nr. 12, p. 552—559.
39. Bianchi, C. : *Metodă de control al calității iluminatului din punctul de vedere al distribuției luminațelor în încăperile de lucru din construcțiile civile*, nr. 12, p. 559—566.
40. Prisăcaru, V., Stavrescu, O., Botez, C. și Popescu, G.D. *Aplicarea calculatoarelor electronice la calculul fotometric al instalațiilor de iluminat*, nr. 12, p. 566—571.
41. Irinei, C. : *Dezvoltarea tehnicii surselor de lumină. Perspectiva introducerii de noi surse*, nr. 12, p. 571—574.
42. Palade, I. : *Principalele direcții și tendințe în evoluția iluminatului căilor publice*, nr. 12, p. 574—579.


V. **Hidroenergetică**


1. Cosma, Gh. : *Contribuții la problema influenței suportului moriștilor hidrometrice asupra măsurării debitului în conducte forțate*, nr. 1, p. 26—33.


VI. **Energetică nucleară**


1. Alexe, Fl. și Barasch, M. : *Studiul proceselor dinamice din reactoarele nucleare energetice cu ajutorul calculatoarelor analogice*, nr. 4, p. 157—162.
2. Țenescu, M., Popa, C. și Gheorghiu, M. : *Accidente maxime în centralele nuclearoelectrice. Sisteme de reducere a efectelor termodinamice și metode de calcul al acestora*, nr. 7, p. 287—294.


VII. **Energetică industrială**


1. Covar, E. : *Mărirea siguranței de funcționare a rețelelor electrice interioare la combinate chimice cu proces tehnologic continuu*, nr. 6, p. 240—255.
2. Dobrinescu, D. : *Majorarea recuperării căldurii din gazele de regenerare a catalizatorilor de cracare*, nr. 6, p. 255—262.
3. Potlog, D. M. : *Condiții de insensibilizare a motoarelor asincrone la goluri de tensiune*, nr. 10, p. 454—461.
4. Lăzărescu, E., Simionescu, A., Popîrda, V., Murgu, Z. și Bîrjoianu, Al. : *Optimizarea parametrilor de funcționare la instalațiile industriale de aer comprimat*, nr. 11, p. 500—505.
5. Gârlașu, Șt. : *Estimarea puterii reactive în scopul compensării la instalații cu acționări reglabile cu tiristoare și recuperare de energie*, nr. 11, p. 512—519.


VIII. **Din exploatare**


1. Nicu, Vl. : *Particularități în variația randamentului cazanelor de apă fierbinte*, nr. 1, p. 20—21.
2. Chirica, M. și Ionescu, E. : *Funcționarea instalației de pretratare a apei montată la CET Govora*, nr. 4, p. 162—166.
3. Nicu Vl. : *Considerații cu privire la perioada optimă de revizie a condensatorului turbinelor de termoficare*, nr. 4, p. 166—168.
4. Catanchin, Al. și Vasilescu, N. : *Cu privire la soluția de repunere în funcțiune după avarie a turbinei nr. 2 Iași prin reconstrucția roții de reglaj*, nr. 6, p. 235—240.
5. Istrate, I. : *Utilizarea proprietăților numerelor complexe la calculul echilibrării rotoarelor la turația nominală*, nr. 6, p. 230—235.


IX. **Articole economice, tehnico-organizatorice și de organizare științifică a producției și a muncii**


1. Mayer, Fr. : *Găsirea soluției optime, la proiectarea unor lucrări energetice, pe graful de sinteză al soluțiilor*, nr. 1, p. 43—44.
2. Grăniceanu, M. și Iancovici, P. : *Aspecte economice ale compensării puterii reactive în sistemul energetic național. Tarifarea energiei electrice*, nr. 7, p. 277—283.
3. Ivas, D. : *Considerații asupra relațiilor folosite pentru determinarea indicatorului economic al continuității în alimentarea cu energie electrică*, nr. 7, p. 284—287.
4. Kraft, M., Moțoiu, C., Cerghizan, V. și Ilicea, C. : *Considerații în legătură cu gradul de utilizare a puterii instalate într-o centrală termoelectrică*, nr. 9, p. 389—398.
5. Tarnavschi, Ș. : *Stabilirea soluțiilor de dezvoltare a rețelelor electrice urbane pe baza analizei economice de ansamblu*, nr. 9, 402—406.

6. Crăciunescu, V. și Lădar, L. : *Selectarea schemelor de excitație pentru hidrogeneratoare pe baza criteriilor tehnico-economice prin metoda „ELECTRE"*, nr. 9, p. 407—416.

X. **Construcții și montaje energetice**

1. Cruceru, C. : *Tendințe actuale în construcția cablurilor de energie și a elementelor de îmbinare destinate rețelelor electrice în cablu*, nr. 7, p. 302—308.
2. Rașcu, P. : *Stațiile de conexiuni și transformare de la CHE Porțile de Fier. Schema electrică și dispozițiile constructive*, nr. 8, p. 342—346.
3. Ruzvan, T., Beldiman, M., Cusursuz, Gh. și Usatiuc, S. : *Folosirea piloților forați la construcția rețelelor supraterane de termoficare*, nr. 11, p. 520—524.
4. Popescu-Ghimpați, Cr. : *Avarii semnalate în exploatarea coșurilor de fum din centralele electrice*, nr. 11, p. 524—532.

XI. **Energetica peste hotare**

1. Brachetti, H.E. : *Amplasarea direct în pămînt a rețelelor de termoficare*, nr. 1, p. 10—19.
2. Moțoiu, C. : *Date asupra centralelor termoelectrice din S.U.A.* nr. 10, p. 479—481.

XII. **Cronică**

1. * * * *De la Comitetul Național Român al Marilor Baraje*, nr. 1, p. 45.
2. Penescu, C. și Chenzbraun, I. : *Reuniunea Comitetului de studii CIGRE nr. 34 din Danemarca, 31 mai—7 iunie 1971*, nr. 2, p. 82—83.
3. Marcu, S. și Romert, V. : *Colocviu asupra automatizării centrelor de dispecer*, nr. 4, p. 169—170.
4. * * * *Reuniunea Comitetului pentru problemele pregătirii și perfecționării inginerilor al Federației Mondiale a Organizațiilor de ingineri*, nr. 5, p. 215.
5. * * * *Ședința Comitetului Executiv al C.C al P.C.R. din 22 mai 1972*, nr. 6, p. 327.
6. * * * *Conferința pe țară a inginerilor și tehnicienilor*, nr. 8, p. 383.
7. Petrșianu, Al. : *Conferința privind supravegherea și comanda centralizată a sistemelor energetice*, nr. 9, p. 428—429.
8. Adămuț, I. și Máthé, B. : *Simpozionul internațional de tehnica tensiunilor înalte*, nr. 10, p. 481—483.
9. * * * *A treia Conferință pe țară a electricienilor*, nr. 11, p. 532—534.
10. Mark, D. : *Al IV-lea Simpozion privind combaterea poluării mediului*, nr. 11, p. 532.
11. Militaru, P. : *Simpozionul de iluminat electric, București, 29 noiembr.—1 dec. 1971*, nr. 12, p. 539—540.
12. Militaru, P. : *Masa rotundă cu tema : „Cercetarea științifică în domeniul iluminatului"*, nr. 12, p. 541—543.

# INDEX ALFABETIC AL AUTORILOR ARTICOLELOR APĂRUTE ÎN REVISTA „ENERGETICA" Vol. XX (1972)

*Adămuț, I.*, XII, 8.
*Albert, H.*, II, 10.
*Alexe, Fl.*, VI, 1.
*Antonescu, V.*, II, 1.
*Athanasovici, V.*, III, 1.

*Barasch, M.*, VI, 1.
*Bălan, F.V.*, III, 4, 11.
*Beldiman, M.*, X, 3.
*Berbece, C.*, IV, 13.
*Bianchi, C.*, IV, 39.
*Bîrjoianu, Al.*, VII, 4.
*Bogdan, C.*, IV, 10.
*Botez, C.*, IV., 40.
*Brachetti, H.E.*, III, 2 ; XI, 1.
*Brătianu, C.*, III, 18.
*Brînzaru, G.I.*, IV, 18.
*Budeanu, C.*, II, 2.
*Buhuș, P.*, V, 2.
*Burdeți, D.*, III, 13.
*Burducea, C.*, II, 2, 7.
*Buta, A.*, IV, 1.

*Catanchin, Al.*, III, 10 ; VIII, 4.
*Centea, O.*, IV, 38.
*Cerghizan, V.*, III, 15 ; IX, 4.
*Chenzbraun, I.*, XII, 2.
*Chercea, G.*, III, 19.
*Chirica, M.*, VIII, 2.
*Cîrțină, Gh.*, IV, 4.
*Cocaranza, G.*, III, 7.
*Cosma, Gh.*, V, 1.
*Costin, E.*, II, 4, 5.
*Covar, E.*, VII, 1.
*Crăciunescu, V.*, IV, 27 ; IX, 6.
*Crețu, D.*, IV, 31.
*Crețu, Gh.*, IV, 3, 16.
*Cristea, H.*, IV, 18.
*Cruceru, C.*, IV, 20 ; X, 1.
*Cusursuz, Gh.*, X, 3.

*Darie, S.*, IV, 32.
*Diatcu, E.*, II, 11.
*Dimo, P.*, IV, 12, 23.
*Dobrescu, D.M.*, II, 11.
*Dobrinescu, D.*, VII, 2.
*Drăgan, D.*, IV, 3, 22.
*Dumitrescu, I.*, III, 18.

*Gheorghiu, M.*, VI, 2.
*Găuvelea, P.*, III, 1.
*Gârlașu, St.*, VII, 4.
*Grăniceanu, M.*, IX, 2.
*Grigoriu, G.*, IV, 21.
*Grigoriu, V.*, IV, 14.

*Hațeganu, I.*, IV, 31.

*Iancovici, P.*, *IX*, 2.
*Ilicea, C.*, III, 15 ; IX, 4.
*Ionescu, C.*, III, 18.
*Ionescu, E.*, VIII, 2.
*Ionescu, L.*, III, 18.
*Irinei, C.*, IV, 41.
*Istrate, I.*, III, 9; VIII, 5.
*Ivas, D.*, IX, 3.
*Ivașcu, C.*, IV, 6.

*Kraft, M.*, III, 15 ; IX, 4.

*Lădar, L.*, IV, 27 ; IX, 6.
*Lăzărescu, E.*, VII, 3.
*Leca, A.*, III, 5, 16, 18.
*Luca, L*, III, 5.
*Lup, L.*, II, 8.

*Marcu, S.*, XII, 3.
*Mark, D.*, IV, 8, 17, 19 ; XII, 10.
*Máthé, B.*, IV, 35 ; XII, 10.
*Mavrodin-Tărăbîc, M.*, II, 9, 12.
*Mayer, Fr.*, IX, 1.
*Micu, R.*, IV, 31.
*Mira, N.*, IV, 38.
*Mișu, Al.*, II, 1.
*Moldoveanu, C.*, IV, 35.
*Moraite, G.*, IV, 29.
*Moțoiu, C.*, II, 3, 7 ; III, 15, 18 ; IX, 4 ; XI, 2.
*Murgu, Z.*, VII, 3.

*Nabijovici, A.*, III, 14, 20.
*Nicu, Vl.*, III, 3, 6, 8; VIII, 1, 3.
*Nitu, V.I.*, I, 1; II, 6; IV, 28.

*Ohanian-Constantinescu, V.*, III, 18.
*Onaca, I.*, II, 9, 12.
*Oprişan, G.*, IV, 28.
*Oprişiu, N.*, IV, 9.

*Palade, I.*, IV, 42.
*Paşa, B.I.*, IV, 37.
*Penescu, C.*, XII, 2.
*Petroianu, Al.*, XII, 7.
*Pipa, G.*, IV, 28.
*Popa, C.*, VI, 2.
*Popescu, A.*, IV, 7.
*Popescu, G.D.*, IV, 40.
*Popescu-Ghimpaţi, Cr.*, X, 4.
*Popescu, S.*, IV, 33.
*Popîrda, V.*, VII, 3.
*Porţeanu, M.*, IV, 11.
*Potlog, D.M.*, IV, 15, 30; VII, 5.
*Potolea, E.*, IV, 5.
*Preda, L.*, IV, 34.
*Prisăcaru, V.*, IV, 40.
*Prisecaru, I.*, III, 16, 18.

*Raşcu, P.*, IV, 24, 26; X, 2.
*Romert, V.*, XII, 3.
*Rugină, V.*, IV, 15.
*Ruzvan, T.*, X, 3.

*Săftoiu, Gh.*, I, 4.
*Săndulescu, M.*, IV, 11, X, 2.
*Simionescu, A.*, VII, 3.
*Slăvescu, M.*, III, 7.
*Solacolu, I.*, II, 9, 12.
*Staadecker, M.*, IV, 10.
*Staicu, C.I.*, III, 17.
*Stan, P.*, V, 2.
*Stanisavlievici, L.*, III, 12.
*Stavrescu, O.*, IV, 40.
*Stăncescu, I.D.*, I, 1; II, 3.
*Stănciulescu, G.*, IV, 21.
*Stein, M.*, IV, 25, 28.
*Stoica, Gh.*, I, 3.
*Sufrim, E.*, IV, 36.
*Şerban, R.*, IV, 13.

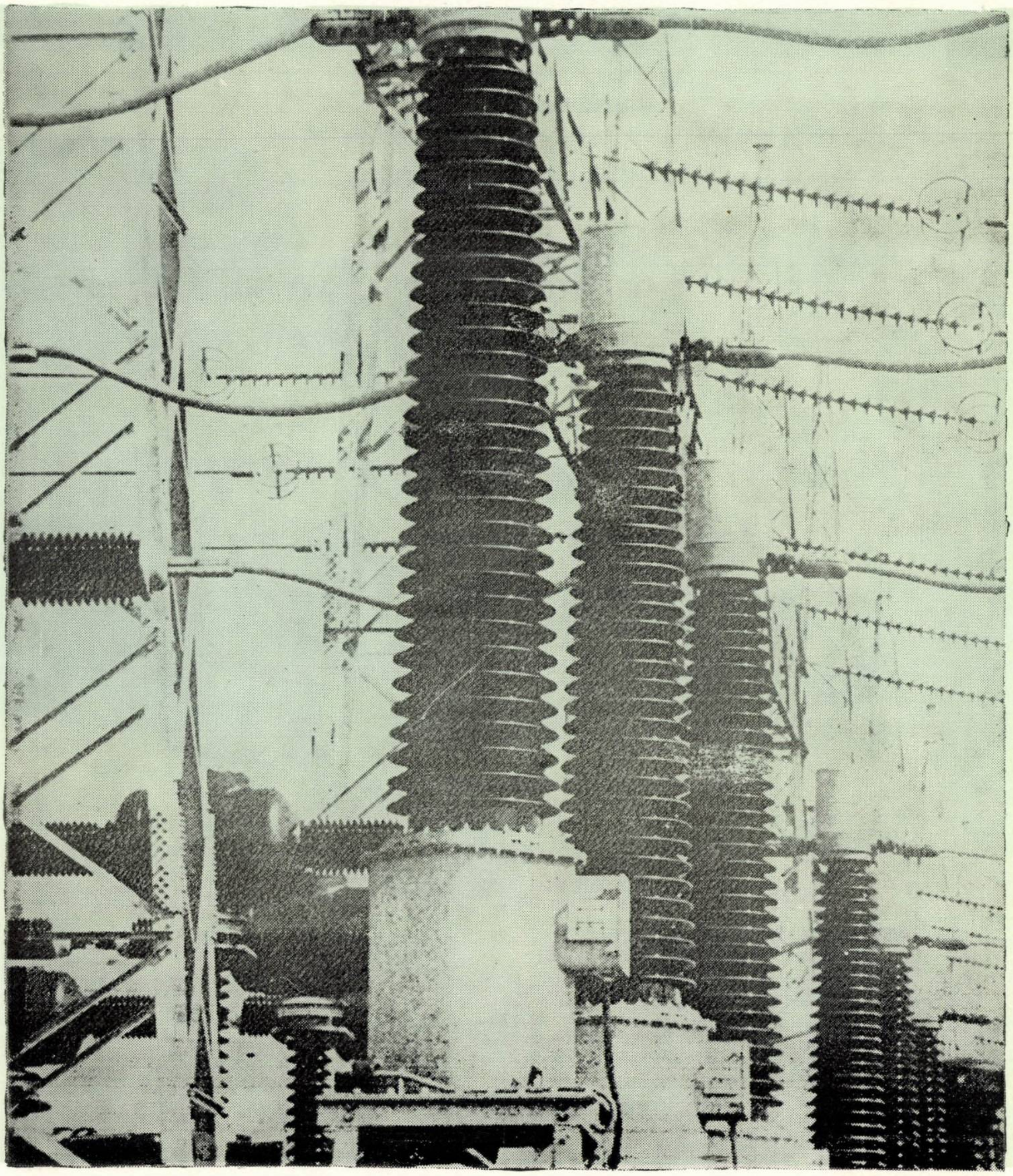
*Tardos, G.*, III, 19.
*Tarnavschi, Ş.*, IX, 5.
*Tudose, M.*, IV, 5.
*Ţenescu, M.*, VI, 2.
*Ţinţăreanu, C.*, IV, 31.

*Usatiuc, S.*, X, 3.

*Vasilescu, N.*, III, 10; VIII, 10.
*Vîlcereanu, A.*, IV, 25.
*Voinea, E*, IV, 34.

# I.R.E. TIMIŞOARA

P-ţa Romanilor nr. 11

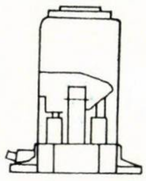
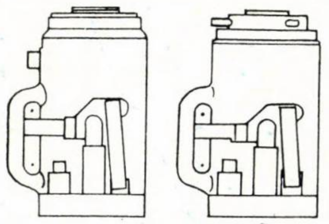
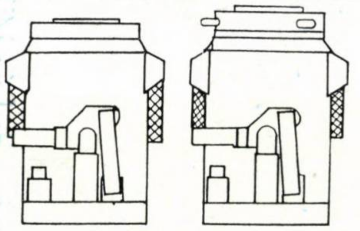
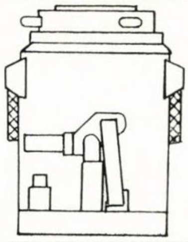
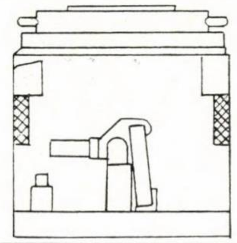


- Asigură alimentarea cu energie electrică a consumatorilor din sectorul industrial, agricol, de transporturi şi casnic din zonă.
- **Proiectează, execută şi exploatează instalaţii energetice în zona judeţelor: Arad, Timişoara şi Caraş-Severin.**
- **Execută verificări profilactice ale aparatajului electric şi verificări de protecţii prin relee.**
- **Realizează lucrări de instalaţii electrice interioare pentru populaţie şi pentru unităţi socialiste în mediu urban şi rural.**
- **Asigură întreţinerea şi reparaţia instalaţiilor de automatizări termice şi electrice.**

**o nouă gamă de cricuri hidraulice:**

# cricuri hidraulice

# «ATLAS»

| VEDERE DE ANSAMBLU | Capacitatea de ridicare t.f. | TIPUL | CONSTRUCTIA | Inălţimea minimă mm | Masa kg |
|---|---|---|---|---|---|
|  | 12 | AS 12/160 | Fără piuliţă de blocare | 235 | 15 |
|  | 20 | AS 20/160 | Fără piuliţă de blocare | 292 | 22, 5 |
| | | ASP 20/160 | Cu piuliţă de blocare | 300 | 24, 4 |
|  | 30 | AS 30/160 | Fără piuliţă de blocare | 293 | 33 |
| | | ASP 30/160 | Cu piuliţă de blocare | 808 | 35 |
|  | 50 | ASP 50/160 | Cu piuliţă de blocare | 326 | 52 |
|  | 100 | ASP 100/160 | Cu piuliţă de blocare | 333 | 115 |

Destinate operaţiilor de ridicare, coborîre şi deplasare a sarcinilor grele pe distanţa de 160 mm, cricurile Atlas se remarcă prin greutatea, gabaritul şi presiunea pe sol reduse şi printr-o manevrabilitate uşoară.

PROMETEU

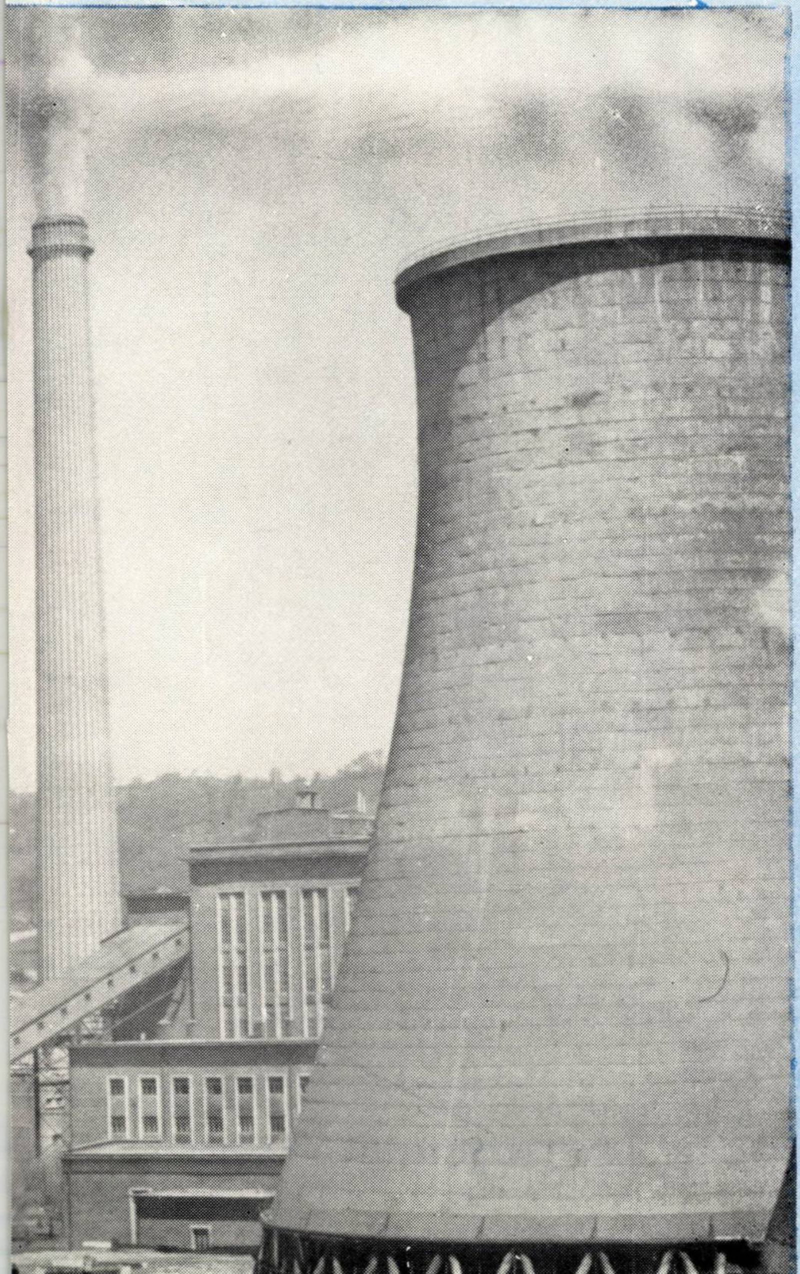
## I.I.S. ENERGOREPARAŢII

BUCUREŞTI, SECTORUL 5, BD. MĂRĂŞEŞTI, Nr. 2, TEL. 23.26.40

i.e.c deva

INTREPRINDEREA
ELECTROCENTRALE DEVA MINTIA
Căsuţa poştală 75
Jud. Hunedoara

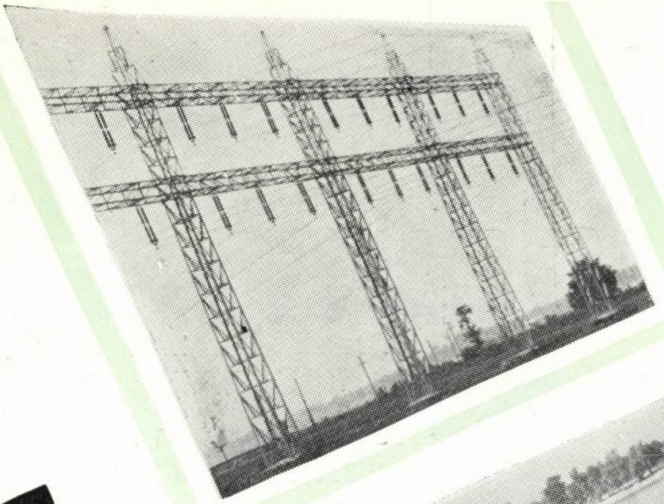
IEC DEVA - Termocentrala PAROSENI are o putere instalată de 300 MW şi este înzestrată cu instalaţii şi utilaje moderne, cu un înalt grad de automatizare, asigurînd producerea şi furnizarea energiei electrice sistemului electroenergetic naţional în condiţii de calitate şi siguranţă.

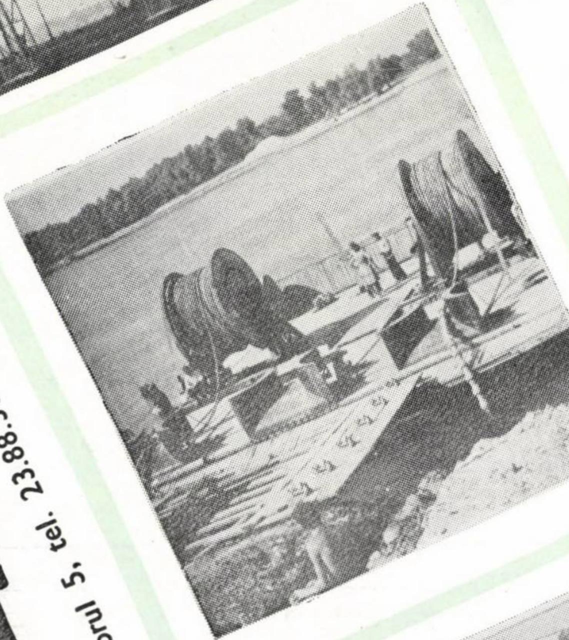


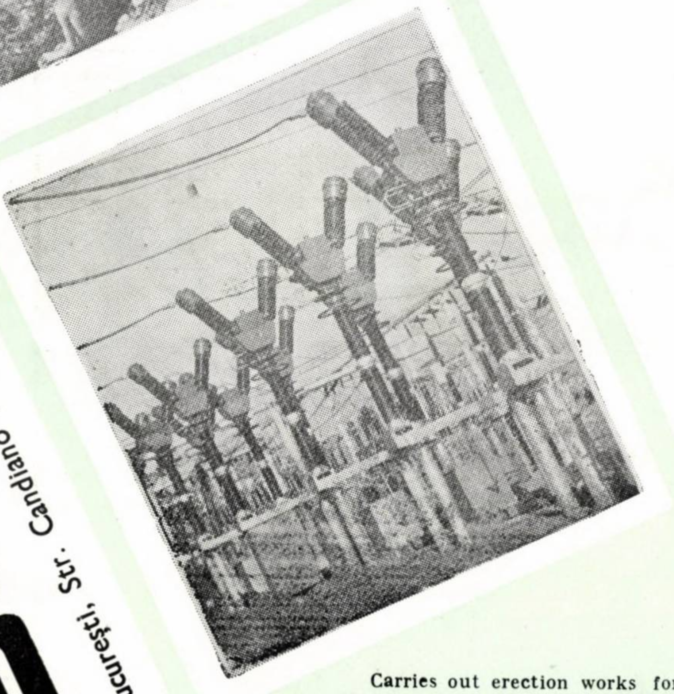
C T E - Paroşeni

IEC DEVA prin termocentralele sale - DEVA şi PAROSENI cu o putere totală instalată de 1140 MW, asigură necesarul de energie electrică şi termică pentru zona industrială a judeţului Hunedoara

# EM







ÎNTREPRINDEREA

# ELECTROMONTAJ

Bucureşti, Str. Candiano Popescu nr. 1, Sectorul 5, tel. 23.88.30 telex 011.208

Exécute des travaux de montage pour les installations du réseau électrique

- **Lignes électriques de transport pour tensions jusqu'à 400 kV**
- **Postes de transformateurs à 35—400 kV**
- **Réseaux d'éclairage public**
- **Lignes électriques de distribution de haute et moyenne tension**
- **Postes de distribution pour toute puissance et tout rapport de transformation**
- **Lignes électriques en câbles souterrains et sous-fluviaux jusqu'à 110 kV**
- **Electrifications rurales**

***Les travaux de montage sont exécutés par ÎNTREPRINDEREA ELECTROMONTAJ BUCUREŞTI par des procédés technologiques modernes de haute productivité à durées d'exécution minimes et d'un niveau qualitatif élevé***

Carries out erection works for power system equipment and electrical networks

- Transmission lines for voltage up to 400 kV
- Transformer substations ranging from 35 t 400 kV
- Public lighting networks
- Distribution lines of high and medium voltag
- Substations for any capacity and transformatio ratio
- Underground and under-river electrical cable up to 110 kV
- Rural electrifications

*The erection works are carried out by ÎNTREPRINDEREA ELECTROMONTAJ BUCUREŞT by high productivity modern technological processes in short delivery times and at high quality level*

*Exécute :*

- Le montage, la mise en fonction et la mise en exploitation des équipements et installations énergétiques pour centrales thermiques et hydro-électriques :

ÉQUIPEMENTS ET INSTALLATIONS POUR CENTRALES THERMIQUES ET CENTRALES POUR LA PRODUCTION COMBINEE CHALEUR/FORCE :

- chaudières à vapeur de grande capacité et à paramètres élevés de fonctionnement
- turbines à vapeur de puissances unitaires jusqu'à 350 MW
- installations de combustible pour : charbon, mazout, gaz
- autres installations méchaniques, afférentes aux centrales thermiques : récipients, conduites, pompes etc.

ÉQUIPEMENTS ET INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES POUR CENTRALES THERMIQUES, HYDRO-ÉLECTRIQUES, POSTES DE TRANSFORMATEURS ET INSTALLATIONS SPÉCIALES

- installations de commutation primaire jusqu'à une tension de 400 kV y compris
- installations pour les services auxiliaires aux centrales et postes de transformateurs
- installations de commutation secondaire
- installations d'automatisation, etc.

*arries out :*

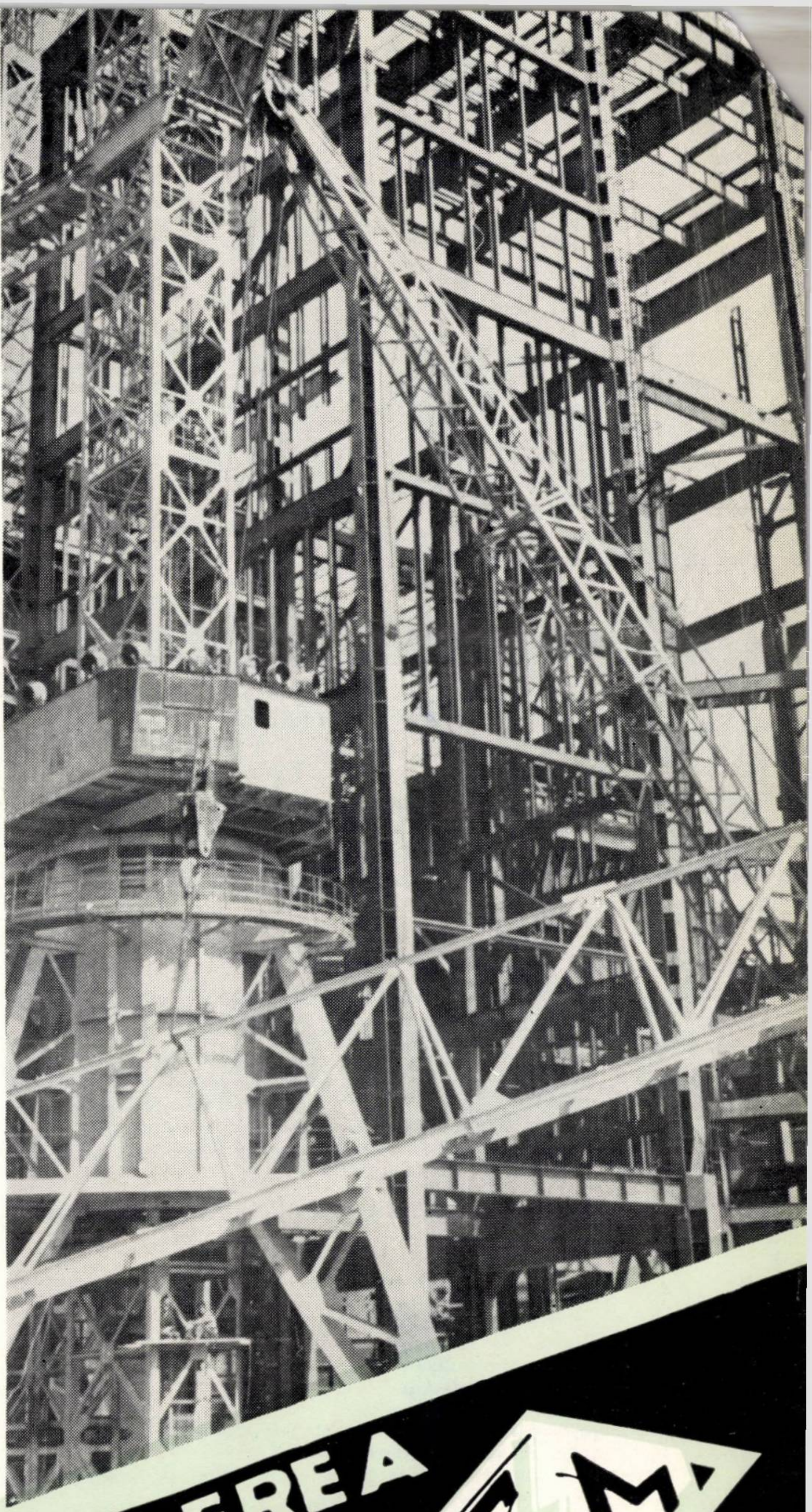
rection, operation and commissioning of power quipments and installations for thermal and hydroectric power plants

INSTALLATIONS AND EQUIPMENTS FOR THERMAL POWER PLANTS AND FOR COMBINED HEAT AND POWER PLANTS :

- boilers of high capacity and high operational parameters
- steam turbines up to 350 MW per unit
- fuel installations for : coal, fuel-oil, gas
- other mechanic equipment necessary for thermal power plants : tanks, pipes, pumps etc.

EQUIPMENTS FOR HYDRO-ELECTRIC POWER PLANTS AND HYDRO-TECHNICAL INSTALLATIONS:

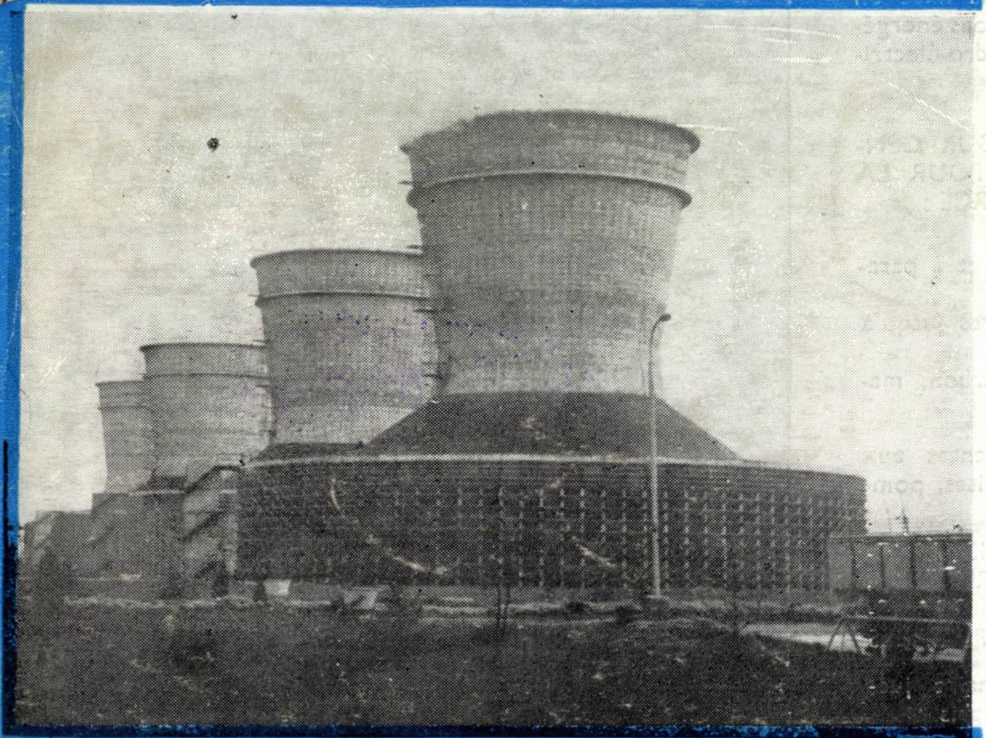
- hydraulic turbines of all types, up to 176 MW per unit
- penstocks
- other mechanic equipment for hydro-electric power plants
- equipments and installations for locks



# INTREPRINDEREA Energomontaj

E M

BUCUREȘTI, Sectorul 1, Calea Dorobanți nr. 105
Tel. : 12.76.30, telex : 335



Execută prin unităţile sale:

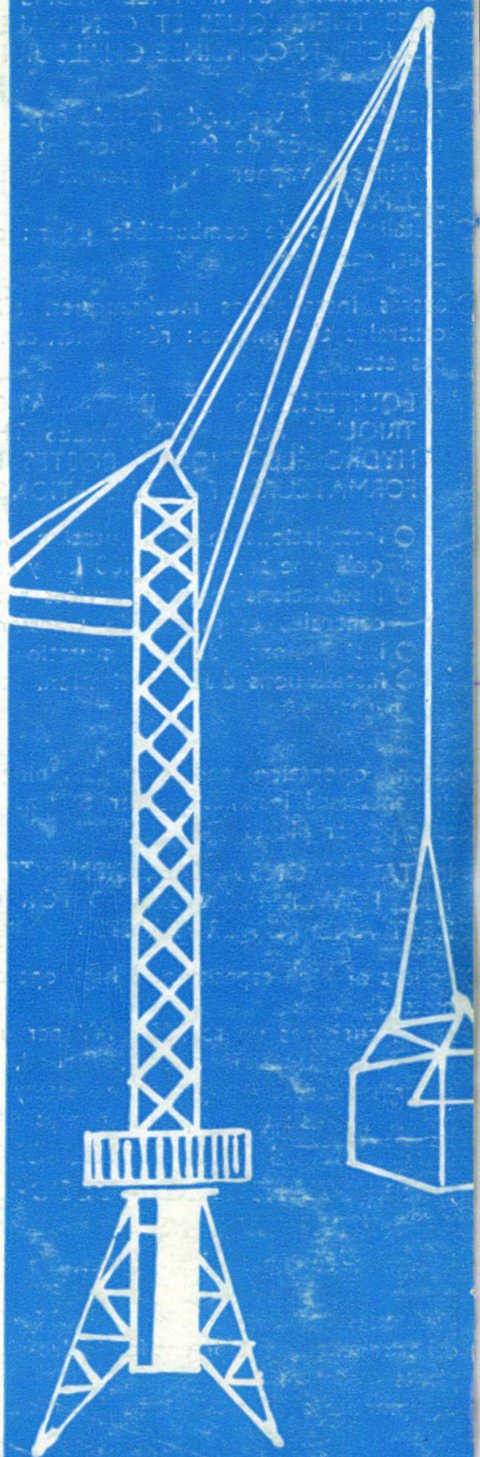
1973 APR 1 ?

- **Lucrări de construcţii termoenergetice:**

— centrale termoelectrice
— termoficări urbane şi industriale
— construcţii hidrotehnice aferente centralelor termoelectrice
— coşuri de fum prin glisare, cu înălţimi pînă la 250 m
— turnuri de răcire cu tiraj natural şi tiraj forţat
— montaje de prefabricate grele din beton armat pentru orice construcţie termoenergetică

- **Lucrări de montaj pentru centrale termo şi hidroelectrice:**

— cazane de abur moderne de mari capacităţi cu parametri ridicaţi
— turbine cu abur pînă la 345 MW
— turbine cu gaze pînă la 35 MW
— turbine hidraulice pînă la 176 MW
— generatoare electrice
— compensatoare sincrone
— instalaţii termomecanice şi hidromecanice pentru centrale termoelectrice şi hidroelectrice
— instalaţii electrice de joasă, înaltă şi foarte înaltă tensiune, aferente centralelor electrice
— instalaţii de măsură, control, automatizare, atît la partea mecanică cît şi la partea electrică.



# TCME

**TRUSTUL DE CONSTRUCŢI**
**ŞI MONTAJE ENERGETICI**

*— B U C U R E Ş T I —*

*Calea Moşilor nr. 158 Sectorul 4*
*telefon: 16.63.30. telex 271*